

Mechanische Unkrautregulierung in Arznei- und Gewürzpflanzen

Kennzahlen und Verfahren für die Praxis



Impressum

Herausgeber: Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn, Regina-Pacis-Weg 3,
53113 Bonn,
www.nawaro.uni-bonn.de und www.aol.uni-bonn.de

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (LfL), Vöttinger Str. 38,
85354 Freising,
www.lfl.bayern.de

PHARMAPLANT Arznei- und Gewürzpflanzen Forschungs- und Saatzucht
GmbH, Am Westbahnhof 4, 06556 Artern, www.pharmaplant.de

Redaktion: Dr. Heidi Heuberger (LfL), Andrea Baron (LfL) und Hanna Blum
(Universität Bonn)
Kontakt: ipz@lfl.bayern.de

Lektorat und Satz: Redaktionsbüro Jörg Planer, Meckenheim
www.redaktionsbuero-planer.de

1. Auflage: April 2023

© Universität Bonn, LfL, PHARMAPLANT, alle Rechte bei den Herausgebern

Quelle Titelfoto: Andrea Baron

Inhalt

1	Einleitung	5
2	Optimech – Versuchskonzept und Durchführung	6
3	Verfahren der mechanischen Unkrautregulierung.....	10
3.1	Vorsaat- und Vorauflaufmaßnahmen zur indirekten Unkrautregulierung	10
3.2	Mechanische Unkrautregulierung in der aufgelaufenen Kultur	14
3.2.1	Unkrautbekämpfung zwischen den Reihen	15
3.2.1.1	Gezogene Werkzeuge	15
3.2.1.2	Bodenangetriebene Hacken	16
3.2.1.3	Maschinell angetriebene Geräte	18
3.2.2	Mechanische Unkrautregulierung in der Reihe der Kulturpflanzen	18
3.2.2.1	Präzisionsstriegel	18
3.2.2.2	Rollstriegel	22
3.2.2.3	Fingerhacke	24
3.2.2.4	Häufelwerkzeuge	26
3.2.2.5	Torsionshacke	28
4	Modellkulturen	30
4.1	Petersilie	30
4.1.1	Präzisionsstriegel.....	33
4.1.2	Fingerhacke	35
4.1.3	Rollstriegel.....	36
4.1.4	Häufelwerkzeuge.....	37
4.1.5	Torsionshacke.....	37
4.2	Arnika.....	38
4.2.1	Präzisionsstriegel.....	40
4.2.2	Fingerhacke	42
4.2.3	Rollstriegel.....	43
4.2.4	Häufelwerkzeuge.....	43
4.2.5	Torsionshacke.....	43
4.3	Melisse.....	44
4.3.1	Gepflanzte Melisse	46
4.3.1.1	Präzisionsstriegel	47
4.3.1.2	Rollstriegel	48
4.3.1.3	Fingerhacke	49

4.3.1.4	Häufelwerkzeuge	49
4.3.1.5	Torsionshacke	50
4.3.2	Gesäte Melisse	51
4.3.2.1	Präzisionsstriegel	52
4.3.2.2	Rollstriegel	53
4.3.2.3	Fingerhacke	54
4.3.2.4	Häufelwerkzeuge	55
4.3.2.5	Torsionshacke	55
4.4	Pfefferminze	56
4.4.1	Präzisionsstriegel.....	59
4.4.2	Rollstriegel.....	60
4.4.3	Fingerhacke	62
4.4.4	Häufelwerkzeuge.....	63
4.4.5	Torsionshacke.....	66
5	Wirtschaftliche Bewertung der mechanischen Unkrautregulierung in Petersilie.....	67
6	Autorinnen und Autoren.....	69
7	Danksagung.....	69

1 Einleitung

Anbauerinnen und Anbauer von Arznei- und Gewürzpflanzen müssen bei der Unkrautregulierung besonders sorgfältig sein, denn Verarbeiter und Gesetzgeber stellen hohe Anforderungen an die Reinheit der Produkte. Unkräuter werden als Fremdbestandteile im Ernteprodukt bewertet und dürfen einen Anteil von wenigen Prozent nicht übersteigen. Für toxische und stachelbildende Unkräuter ist die Toleranz nahe Null. Dies stellt nicht nur ökologisch, sondern auch konventionell wirtschaftende Betriebe vor große Herausforderungen, denn Herbizide sind für diesen Sektor nur eingeschränkt verfügbar. Daher sind besonders für den Arznei- und Gewürzpflanzenanbau technische Innovationen und die Optimierung bestehender Unkrautregulierungsverfahren von großer Bedeutung.

Die Wirkung und Verträglichkeit mechanischer Unkrautregulierungsmaßnahmen kann deutlich erhöht werden, wenn man die richtigen Geräte und Werkzeuge auswählt und diese kultur- und standortgerecht einstellt und verwendet. Die vorliegende Broschüre liefert Kennzahlen und Strategien, die Praktikerinnen und Praktiker dabei unterstützen sollen. Der Fokus wurde auf die mechanische Unkrautregulierung innerhalb der Kulturpflanzenreihe gelegt, da dieser Bereich im Arznei- und Gewürzpflanzenanbau besonders sensibel ist.

Um verlässliche Strategien aufzeigen zu können, wurden im Forschungsprojekt Optimech (siehe Kapitel 2) über drei Jahre lang umfangreiche Parzellenversuche und praxisnahe Tests durchgeführt. Schwerpunkt der Untersuchungen war es, geeignete Einstellvariationen und Einsatzzeitpunkte für Maschinen und Werkzeuge zu entwickeln – und zwar in Hinblick auf das Kulturstadium, das Unkrautentwicklungsstadium, den Standort, die Witterung und die Bodenfeuchte. Die Ergebnisse wurden mithilfe von Praktikerinnen und Praktikern sowie Fachberaterinnen und Fachberatern auf ihre Praxistauglichkeit überprüft.

Als Werkzeuge kamen in dem Projekt Torsionszinken, Fingerhacken und Häufelwerkzeuge sowie ganzflächig arbeitende Roll- und Präzisionsstriegel zum Einsatz. Um praxistaugliche Kennzahlen ermitteln zu können, wurden die Werkzeuge und Geräte im Einzelverfahren getestet – wohlwissend, dass in der Praxis die Kombination verschiedener Werkzeuge üblich ist.

Kennzahlen wurden an vier Kulturen erarbeitet: Petersilie, Arnika, Melisse und Pfefferminze. Diese Arten stehen aufgrund ihrer Kulturverfahren, ihrer botanischen Eigenschaften und den hohen Anforderungen an die Unkrautfreiheit der Bestände als Modellkulturen für weitere Arznei- und Gewürzpflanzenarten.

Im Projekt Optimech wurden marktgängige Geräte speziell für den Einsatz in den genannten Kulturen ausgestattet und angepasst. Die Steuerung der Geräte richtete sich dabei nach der Technik, die auf den jeweiligen Versuchsbetrieben vorhanden war. Das Spektrum reichte dabei vom Anbau an einen manuell gesteuerten Hackrahmen im Heck bis hin zum Anbau an eine autonom fahrende Trägerplattform. Diese Bandbreite an verfügbaren Möglichkeiten macht die hohe Komplexität, aber auch die Flexibilität der Kombinationen deutlich.

In der vorliegenden Broschüre wird nur ansatzweise auf den Bereich der indirekten Unkrautregulierungsmaßnahmen (z. B. Fruchtfolgegestaltung, Saattermin, Feldhygiene) und der Unkrautregulierung zwischen den Reihen eingegangen, weil hierfür bereits erfolgreiche Techniken existieren. Die Grundbodenbearbeitung wird hier nicht thematisiert.

Abschließend sei darauf hingewiesen, dass hier nur ein Teilaspekt der komplexen betriebs- und standortspezifischen Faktoren im Hinblick auf die Technik der Unkrautregulierung abgebildet werden kann. Die genannten Kennzahlen und Erfahrungen zu den vorgestellten Methoden sollen dabei unterstützen, ein betriebliches Kultursystem zu entwickeln, welches zielgerichtet mit Fruchtfolge-, Vorsaats- und weiteren Bodenbearbeitungsmaßnahmen kombiniert werden muss.

2 Optimech – Versuchskonzept und Durchführung

Im Verbund-Forschungsprojekt Optimech, das vom Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft sowie von privaten Unternehmen gefördert wurde, arbeiteten 2019 bis 2022 folgende Partner mit:

- die Professuren „Nachwachsende Rohstoffe“ sowie „Agrarökologie und Organischer Landbau“ des Instituts für Nutzpflanzenwissenschaften und Ressourcenschutz der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn,
- die Arbeitsgruppe „Kulturpflanzenvielfalt – Arznei- und Gewürzpflanzen, Pflanzengenetische Ressourcen“ der Bayerischen Landesanstalt für Landwirtschaft in Freising, sowie
- die PHARMAPLANT Arznei- und Gewürzpflanzen Forschungs- und Saatzucht GmbH in Artern

mit den jeweils zugehörigen Versuchsbetrieben Campus Klein-Altendorf und Campus Wiesengut, sowie den beiden Versuchsstationen der Bayerischen Staatsgüter Baumannshof und Puch.

Mit den **4 Versuchsstandorten** wurden hinsichtlich der Standortfaktoren und der Bewirtschaftungsform verschiedene typische Anbausituationen der Praxis abgebildet.

- Versuchsstation Baumannshof („BA“), Forstwiesen, Bayern: Boden IS, mittlerer Jahresniederschlag 680 mm, Jahresdurchschnittstemperatur 9,0 °C, konventionelle Wirtschaftsweise
- Versuchsstation Puch („PU“), Puch, Bayern: Boden sL, mittlerer Jahresniederschlag 875 mm, Jahresdurchschnittstemperatur 8,6 °C, konventionelle Wirtschaftsweise
- Campus Wiesengut („WG“), Hennef, Nordrhein-Westfalen: Boden sU-tU, mittlerer Jahresniederschlag 840 mm, Jahresdurchschnittstemperatur 10,3 °C, ökologische Wirtschaftsweise
- Campus Klein-Altendorf („CKA“), Rheinbach, Nordrhein-Westfalen: Boden sL, mittlerer Jahresniederschlag 603 mm, Jahresdurchschnittstemperatur 9,4 °C, konventionelle Wirtschaftsweise

Für die Feldversuche zur Ermittlung der optimalen Geräteeinstellungen und Einsatzzeitpunkte wurden folgende Hack- und Striegelgeräte zur Unkrautregulierung eingesetzt (Hersteller in Klammern):

- Rollstriegel (Einböck)
- Präzisionsstriegel (Treffler)
- Häufelwerkzeuge (K.U.L.T.)
- Torsionshacke (K.U.L.T.)
- Fingerhacke (K.U.L.T.)

Der Fokus der Untersuchungen lag auf dem Bereich der Sä- und Pflanzreihen, da hier mechanische Eingriffe zur Unkrautregulierung zu Schäden an den Kulturpflanzen führen können. Die Einsatzzeiten der Arbeitsgeräte richteten sich dabei nach den Wetter- und Bodenbedingungen sowie nach den Entwicklungsstadien der jeweiligen Unkräuter und Kulturpflanzen. Kriterien wie Fahrgeschwindigkeit, Arbeitstiefe, Zinkendruck oder Abstand zur Reihe wurden in den Versuchen variiert. Das Ziel war, die Kombination zu finden, die den höchsten Wirkungsgrad erzielt, bei möglichst geringer Schädigung der Kulturpflanzen.

Die **Modellkulturen**, die im Projekt verwendet wurden, weisen folgende Besonderheiten auf:

- **Arnika (*Arnica montana*):**
mehrjährige Pflanzkultur mit langsamer Etablierungsphase ohne Bestandschluss im Jahresverlauf und hoher Empfindlichkeit gegen mechanische Wurzelverletzungen
- **Pfefferminze (*Mentha x piperita*):**
mehrjährige und mehrschnittige Pflanzkultur mit Ausläuferbildung (Stolonen) und Tendenz zu flächiger Ausbreitung
- **Petersilie (*Petroselinum crispum*):**
einjährige Kultur mit Aussaat im zeitigen Frühjahr und langsamer Jugendentwicklung sowie mehreren Ernteschnitten
- **Melisse (*Melissa officinalis*):**
Etablierung ab Mai, mehrjährige Bestandsführung, Rosettenwachstum zu Beginn, ab dem zweiten Standjahr mehrschnittig
Saatkultur: Feinsämerei mit geringer Konkurrenzkraft, oberflächennahe Samenablage (Lichtkeimer), langsame Jugendentwicklung; dadurch schwierige Bestandsetablierung
Pflanzkultur: Reihenschluss im Pflanzjahr

Versuchsdurchführung

Jedes Gerät wurde im Kulturverlauf mehrfach nacheinander eingesetzt. Auf diese Weise konnte die Verträglichkeit des Werkzeugtyps oder des Gerätes in verschiedenen Kulturstadien bestimmt werden. Maschinenkombinationen oder Abfolgen verschiedener Geräte auf ein und derselben Fläche wurden hingegen nicht geprüft. Auf den Kontrollflächen wurde das Unkraut ausschließlich manuell gejätet.

Neben jeder Versuchsanlage wurde eine zusätzliche Fläche derselben Kultur angelegt, wo die Geräte eingestellt und optimiert werden konnten (siehe **Abbildung 1**). Optimiert wurden die Fahrgeschwindigkeit sowie die spezifischen Einstellungen der Geräte und Werkzeuge. Die Intensität des Eingriffs wurde schrittweise erhöht, bis die Unkrautwirkung ausreichend war oder die Kulturschädigung zu hoch. Alle getesteten Einstellungen und deren Effekte wurden dokumentiert. Wenn keine der Einstellungen von der Kultur hinreichend vertragen wurde, erfolgte der Gerätetest zu einem späteren Zeitpunkt erneut. Die bestmögliche Geräteeinstellung kam anschließend im Parzellenversuch zum Einsatz.

Nach jedem Geräteeinsatz und nach Abschluss der Datenerhebung wurde in den Versuchspartellen die Restverunkrautung per Hand gejätet, um wieder vergleichbare Ausgangsbedingungen für den nächsten Arbeitsgang herzustellen. Zwischen den Sä- und Pflanzreihen wurde das Unkraut betriebsüblich mechanisch reguliert, meist mit klassischen Scharhacken und bei Bedarf mit Schutzscheiben.

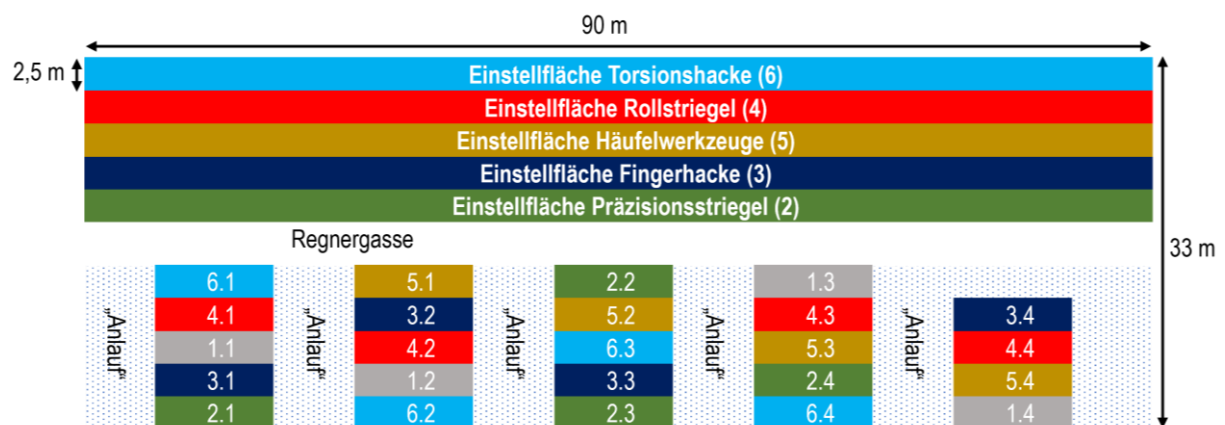


Abbildung 1: Anlageschema der Optimech-Versuche mit großen Flächen zur Optimierung der Geräteeinstellungen sowie den Parzellenversuchen für die Geräteprüfung in 4 Wiederholungen (Grafik: Andrea Baron)

Datenerhebung

Zur Beurteilung der Werkzeuge und Geräte wurden sowohl in der Einstellfläche als auch im Exaktversuch die gerätespezifischen Konfigurationen und Einstellungen wie Arbeitstiefe, Abstand zur Reihe, Federspannung, Fingerhärte der Fingerhacke oder Fahrgeschwindigkeit dokumentiert. Bei jedem Einsatz wurde die Ausgangssituation und Wirkung auf einer 1 m langen und 0,2 m breiten Boniturfläche (siehe **Abbildung 2**, Seite 9) mit Daten zur Kultur (z. B. Anzahl, Höhe, Wachstumsstadium, Schädigungsgrad, Schädigungsart), zum Unkrautbesatz in der Reihe (z. B. Arten, Anzahl, Höhe, Wachstumsstadium) sowie zum Bodenzustand (Bodenfeuchte, Oberflächenstruktur, Krümelung u. a.) beschrieben. Die im Anschluss auftretenden Effekte wie Regeneration oder Absterben von Pflanzenteilen ließen sich nach 3 bis 5 Tagen dokumentieren.

Der Grad der Kulturschädigung wurde entweder als Anteil in Prozent geschätzt oder anhand der Verringerung des Deckungsgrads wie folgt berechnet

$$\text{Kulturschädigung (\%)} = \frac{100}{c_1} \times (c_1 - c_2)$$

c_1 = Kulturdeckungsgrad (%) vor dem Maschineneinsatz

c_2 = Kulturdeckungsgrad (%) direkt nach bzw. 3 bis 5 Tage nach dem Maschineneinsatz

Der Regulierungserfolg gegen Unkräuter in der Reihe ergibt sich wie folgt aus der Differenz der Anzahl Unkräuter direkt vor und direkt bzw. 3 bis 5 Tage nach dem Maschineneinsatz:

$$\text{Wirkungsgrad (\%)} = \frac{100}{w_1} \times (w_1 - w_2)$$

w_1 = Anzahl Unkräuter vor dem Maschineneinsatz

w_2 = Anzahl Unkräuter nach dem Maschineneinsatz

Um eine zu starke Restverunkrautung nach Geräteanwendung zu vermeiden, wurden die entsprechenden Parzellen nach dem Erfassen des Wirkungsgrades manuell gejätet. Dies ist bei der Interpretation der dargestellten Wirkungsgrade der nachfolgenden Geräteinsatztermine zu berücksichtigen. Der Arbeitsaufwand für das Jäten der Restverunkrautung in der Reihe bzw. pro Parzelle wurde nicht erhoben.



Abbildung 2: Optimech-Boniturrahmen zur Erfassung des Kulturdeckungsgrades und der Anzahl an Unkräutern in und nahe der Kulturreihe. Für die Beurteilung von Maßnahmen in der Praxis kann auch mit einem Gliedermaßstab gearbeitet werden. (Foto: Matthias Bernschein)

In Kapitel 4 der Broschüre sind für jede Kultur die verträglichen und wirkungsvollen Einstellbereiche der Geräte als Kennzahlen zu finden. Von den Wirkungs- und Schädigungsgraden, die mit diesen Einstellungen in den Exaktversuchen erzielt wurden, werden dort die Spannbreiten

sowie der Median angegeben. Der Median ist der Wert genau in der Mitte einer nach Größe geordneten Datenreihe. Der Vorteil des Medians gegenüber dem Mittelwert (arithmetisches Mittel) ist, dass er weniger stark von sogenannten hohen oder niedrigen Ausreißerwerten geprägt ist. Dazu ein Beispiel: In der Datenreihe 18, 20, 25, 29, 88 ergibt sich als Median 25, als Mittelwert jedoch 36. Bei einer geraden Anzahl an Werten ist der Median der Mittelwert der beiden mittleren Werte.

Erträge

Zur Beurteilung der Ertragswirkung der durchgeführten Unkrautregulierungsmaßnahmen erfolgte eine Beerntung der Versuchspartzellen. In der Broschüre dargestellt sind jeweils die Trockenmasseerträge im Mittel der Parzellen. Die Wirkung auf den Ertrag wird im Vergleich zur Kontrolle ermittelt.

Weitere Informationen zum Projekt, zur Methodik und zu den Ergebnissen sind im Schlussbericht des Projekts zu finden. Dieser steht ab ca. Sommer 2023 unter dem folgenden Link zur Verfügung:

<https://pflanzen.fnr.de/projekte/arzneipflanzen/unkraeuter-in-arzneipflanzen-ohne-herbizide-kontrollieren>

3 Verfahren der mechanischen Unkrautregulierung

3.1 Vorsaats- und Voraufmaßmaßnahmen zur indirekten Unkrautregulierung

Der Fokus der Broschüre liegt auf der direkten mechanischen Unkrautregulierung. Diese ist allerdings immer in eine Unkrautregulierungsstrategie eingebunden, die sich auf das ganze Anbaukonzept von der Fruchtfolge über Bodenbearbeitung bis hin zu den Vorsaatsmaßnahmen bezieht. Aus diesem Grund kann auf die Darstellung dieser indirekten Maßnahmen in der Broschüre nicht ganz verzichtet werden.

Folgende Maßnahmen vor der Saat und vor Auflauf haben einen deutlichen Einfluss auf die Unkrautkontrolle:

- Flächenauswahl
- Aussattermin
- Feldhygiene
- Saatbettbereitung
- Falsches Saatbett
- Abgesetztes Saatbett
- Vorauflauf: Abflammen - Blindstriegeln

Flächenauswahl

Der allgemeine Unkrautdruck und die Problemunkrautarten einer Fläche sollten im Vorfeld bekannt sein. Beides ist wichtig für die Einhaltung der Spezifikation des Abnehmers und den Kulturerfolg. Flächen mit toxischen Problemunkräutern wie Gemeines Kreuzkraut, Nachtschatten oder Stechapfel sollten vermieden oder nur nach Vorfrüchten mit hohem Unterdrückungspotenzial genutzt werden. Kommt man um die Nutzung solcher Flächen nicht herum, müssen die toxischen Unkräuter durch weitere indirekte und direkte Unkrautregulierungsmaßnahmen beseitigt werden. Ebenso sollten Flächen mit starkem Besatz an mechanisch schwer bekämpfbaren Unkräutern wie Hirsearten, Knötericharten und Wurzelunkräutern möglichst vermieden bzw. zuvor bereinigt werden.

Aussaattermin

Der Aussaattermin hat direkte Auswirkung auf den Unkrautdruck in der konkurrenzschwachen Jugendphase der Kultur. Er ist oft durch den Entwicklungszyklus der Kulturpflanze vorgegeben und nicht beliebig wählbar. Aber generell gilt: Mit steigenden Bodentemperaturen im April/Mai laufen die wärmeliebenden, spätkeimenden Unkräuter und Gräser wie Hirse-, Winden-, Knöterich-Arten oder Nachtschatten auf. In dieser Phase sollte das Kulturstadium den möglichst robusten Einsatz von Hackmaschine oder Striegel zulassen (frühe Aussaattermine). Eine weitere Option wäre die verzögerte Aussaat, um diese Unkrautwelle mechanisch oder thermisch vor der Aussaat auszuschalten (siehe Abschnitt Falsches Saatbett und abgesetztes Saatbett).

Herbstaussaaten stellen hohe Anforderungen an die Unkrautregulierung, da in Regionen mit milden Wintern viele Unkrautarten, wie Vogelmiere, Rispengras oder Kreuzkraut weiterwachsen, während die Kulturpflanze in der Regel Winterpause macht und eine mechanische Bearbeitung der Flächen nässebedingt oft nicht möglich ist.

Feldhygiene

Eine effektive Maßnahme der Unkrautkontrolle ist die Feldhygiene, das heißt die sofortige Beendigung der Kultur nach der Ernte oder bei Kulturabbruch mit Grubber und/oder Scheibenegge. Bei Bedarf wird zuvor gemulcht. Ziel dieser Maßnahmen ist es, das Aussamen und das Vermehren von Unkräutern zu verhindern. Außerdem werden die Vermehrungszyklen von tierischen Schädlingen (z. B. Nematoden) und Schadpilzen unterbrochen. Bei längeren Brachezeiten oder nahendem Ende der Vegetationsperiode sollten schnelldeckende Gründüngungsarten zur Unkrautunterdrückung eingesetzt werden.

Saatbettbereitung

Eine weitere wichtige Stellschraube ist die Saatbettbereitung. Hierbei unterscheidet man zwei Verfahren, mit denen man den Unkrautdruck wirksam mindern kann: Das „falsche Saatbett“ und das „abgesetzte Saatbett“. Das Saatbett sollte in beiden Fällen feinkrümelig und eben sein. Nur so ist ein früher und effektiver Einsatz von Abflammgerät, Hackmaschine oder Striegel möglich. Kluten führen bei dem anzustrebenden frühzeitigen Einsatz von Hackmaschine und Striegel zu Verschüttungen der Kulturpflanze. Außerdem werden die Unkrautkeimlinge

Abgesetztes Saatbett

Beim abgesetzten Saatbett wird das Saatbett final und deutlich vor der Saat mit boden- und standorttypischen Geräten angelegt. Die verzögerte Aussaat erfolgt nach 1 bis 2 Wochen in einem separaten Arbeitsgang ohne weitere flächige Bodenbewegung. Die Aussaat erfolgt in das keimende und auflaufende Unkraut, mit möglichst geringem Eingriff durch die Säaggregate und Andruckrollen (beides möglichst schmal). Dabei kommen zum Beispiel Solo-Gemüsedrillen mit tandemgeführten Säaggregaten zum Einsatz (siehe Foto). Im Unterschied zum falschen Saatbett wird der Boden bis zur und während der Aussaat nicht mehr großflächig bewegt. Schließlich wird unmittelbar vor dem Auflaufen der Kultur das Unkraut abgeflammt.



Abbildung 4: Drillmaschine mit tandemgeführten Säaggregaten zur Aussaat ohne Bodenbearbeitung in das abgesetzte Saatbett (Foto: Hans Jörg Kornik)

Durch diesen Ablauf wird kein frischer Unkrautsamen in den Keimhorizont gehoben und die Kulturpflanze bekommt einen Vorsprung vor den folgenden Unkrautwellen. Ein weiterer Vorteil des abgesetzten Saatbetts gegenüber dem falschen Saatbett liegt in der Konservierung der Frühjahrsbodenfeuchtigkeit, wodurch häufig auf eine Auflaufberegnung verzichtet werden kann.

Bei frühen Aussaaten bis etwa zum 10. April sind die Boden- und Lufttemperaturen in vielen Anbauregionen noch so gering, dass die verzögerte Aussaat sowohl im falschen als auch im abgesetzten Saatbett keinen Vorteil bringt. Das Unkraut keimt dann noch nicht oder so langsam, dass manche Kulturarten schneller auflaufen als das Unkraut. Bei Aussaaten ab Mitte April können beide Verfahren zum Erfolg führen.

Im Sommer sollte das frisch angelegte Saatbett sofort bewässert werden. Nach ca. 8 Tagen sind die Unkräuter gekeimt und die Fläche ist bereit zur Aussaat. Das Abflammen erfolgt ebenfalls kurz vor dem Auflaufen der Kultur. Wichtig zu beachten: Alle Gräserarten lassen sich thermisch nicht ausreichend bekämpfen!

Starkniederschläge vor der Aussaat in das abgesetzte Saatbett können zu Verdichtungen und Verschlammungen führen, die ein erneutes Auflockern des Bodens nötig machen. Dadurch geht der Unkrauteffekt des abgesetzten Saatbetts verloren.

Voraufbau – Abflammen und Blindstriegeln

Nach der Saat stehen als Voraufbaumaßnahmen das Abflammen oder alternativ das Blindstriegeln zur Verfügung. Beide Maßnahmen erfordern ein ebenes und feinkrümeliges Saatbett (siehe Abschnitt Saatbettbereitung) und eine exakte gleichmäßige Tiefenführung bei der Aussaat. Für den optimalen Einsatzzeitpunkt ist in beiden Fällen ein gleichmäßiger Feldaufgang besonders wichtig. In manchen Fällen (z. B. bei Petersilie) kann durch eine Priming Behandlung des Saatgutes ein schnellerer und auch gleichmäßigerer Aufbau erzielt werden.

Das Abflammen erfolgt unmittelbar vor Aufgang der Kultur und erfordert eine tägliche Feldkontrolle des Keimlings. Es soll so spät wie möglich abgeflammt werden, um möglichst viel Unkraut zu treffen. Wenn der Keimling noch mit Erde bedeckt und der Boden feucht ist, ist der Einsatz schadlos möglich. Eine Faustregel lautet: „Bis die ersten 5 % aufgelaufen sind, kann gefeuert werden.“ Dabei ist unbedingt die Flächenleistung zu beachten: Bei guten Wachstumsbedingungen im Sommer steht manchmal nur ein enges Einsatzfenster von wenigen Stunden zur Verfügung. Ein langsames Herantasten an die kulturspezifischen Termine ist daher zu empfehlen.

Alternativ kann der Striegel im Voraufbau eingesetzt werden (Blindstriegeln). Die Eingriffstiefe soll dabei über der Ablagetiefe bzw. dem Keimlingshorizont liegen, damit der Keimling nicht gestört wird, was zu Ausdünnung und Aufbauproblemen führen kann. Diese Maßnahme kann sinnvoll sein bei langsam keimenden Kulturen und einer Unkrautwelle im frühen Stadium (Fäden bis Keimblatt) vor Aufbau der Kultur.

Im Allgemeinen hat das Abflammen größere Wirksamkeit gegen das Unkraut: Beim Abflammen wird keine Erde mehr bewegt und somit kein neues Unkraut zum Keimen angeregt. Außerdem ist die Kulturverträglichkeit sicherer gegeben als beim Blindstriegeln. Allerdings ist das Abflammen mit deutlich höheren Kosten und geringerer Schlagkraft verbunden als das Striegeln.

3.2 Mechanische Unkrautregulierung in der aufgelaufenen Kultur

Nach dem Auflaufen der Kultur stehen verschiedene Geräte und Werkzeuge zur Bekämpfung des Unkrauts zur Verfügung. Die Verfahren und Geräte zur Beseitigung des Unkrauts zwischen den Reihen sind etabliert, wobei der geforderte Reihenabstand und das möglichst nahe Arbeiten an der Reihe die Herausforderungen darstellen. Geräte, die flächig oder gezielt in der Reihe wirken, haben das Problem, dass sie in die Kulturreihe eingreifen und dort potenziell schädigen.

3.2.1 Unkrautbekämpfung zwischen den Reihen

Die mechanische Unkrautregulierung zwischen den Reihen von Heil- und Gewürzpflanzen erfolgt genauso wie bei den meisten Ackerkulturen. Vorwiegend wird hier mit Scharhacken gearbeitet. Aber auch boden- oder zapfwellenangetriebene Geräte leisten eine wirkungsvolle Arbeit. Darüber hinaus sind Reihenstriegel, solo oder in Kombination mit Hackgeräten, einsetzbar.

Geräte und Werkzeuge für die Zwischenreihen nach Art des Antriebs			
Gezogen		Bodenangetrieben	Antrieb mit Zapfwelle/Hydraulik
Scharhacken		Sternhacke	Reihenfräse
Bestückungsalternativen Gänsefußschar Flachschar (breites Gänsefußschar) Winkelmesser	Zusätzliche Werkzeuge Reihenstriegel Seche Schutzscheiben	Rollhacke	Rotationsscharhacke
		Bügelhacke	

3.2.1.1 Gezogene Werkzeuge

Scharhacken

Die Werkzeuge der Scharhacken gibt es in starrer, halbstarrer oder gefederter Ausführung (siehe **Abbildung 5**). Gefederte Schare sind vor allem in steinig Böden erforderlich. Je nach Reihenabstand und Eingriffsintensität werden mehrere Hackschare an einem Parallelogramm montiert. Die Scharflügel sollten dabei mehrere Zentimeter im Boden überschneiden und entsprechend breit sein. Schmale Schare erzeugen mehr Bodenbewegung und sind stabiler als Schare mit breiten Flügeln. Im frühen Kulturpflanzenstadium werden Winkelschare beidseitig dicht an der Pflanzenreihe geführt. Dazu bearbeiten Flach- oder Gänsefußschare die restliche Fläche zwischen den Reihen.



Abbildung 5: Parallelogramm einer Scharhacke mit Tastrad und drei Gänsefußscharen; zwei davon sind halbstarr an Federelementen montiert. (Foto: Firma Schmotzer)

Ein optionaler Reihenstriegel (siehe **Abbildung 6**) unterstützt das Schar, unterschrittenes Unkraut aus dem Boden zu lösen. Für besonders frühe Hackmaßnahmen empfehlen sich zum Schutz kleiner Pflanzen Schutzscheiben, die dicht an den Pflanzenreihen in Kombination mit einem Flach- oder Winkelschar geführt werden (siehe **Abbildung 7**, Seite 16). Dadurch wird die Bodenkruste exakt geschnitten und die Pflanzen werden nicht verschüttet.

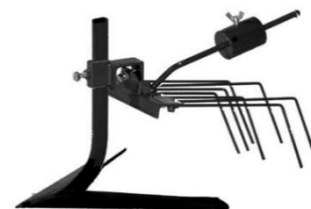


Abbildung 6: Reihenstriegelelement mit justierbarem Belastungsgewicht an einen Flachscharstiel angeklemt (Foto: Firma K.U.L.T. Kress Umweltschonende Landtechnik)

3.2.1.2 Bodenangetriebene Hacken

Sternhacke

Bei den Sternhacken besteht jedes Hackelement aus bis zu vier parallel dicht nebeneinander montierten gezackten Scheiben, die sich gegen die Fahrtrichtung variabel ausrichten lassen (siehe **Abbildung 8**). Je nach Montagerichtung am Tragarm eignen sie sich damit auch zum Häufeln oder zum Abräumen von Pflanzdämmen. Zusätzlich lassen sich diese Sternscheibenpakete um eine weitere Achse verschwenken. Dadurch ist der Häufel- und Abräumeffekt variabel einstellbar bzw. an eine vorhandene Dammform anpassbar. Nicht zuletzt lässt sich durch die Fahrgeschwindigkeit die Intensität der Bearbeitung steuern.



Abbildung 7: Schutzscheiben an einer Scharhacke schützen kleine Kulturpflanzen vor dem Verschütten. (Foto: Firma K.U.L.T. Kress Umweltschonende Landtechnik)

Die zahlreichen Zacken der Werkzeugpakete brechen den Boden krümelig auf. Dabei ist diese Hacke wenig empfindlich für organisches Auflagematerial und mechanisch robust, sodass auch intensive Bodeneingriffe möglich sind.



Abbildung 8: Sternhacke beim Ab- und Anhäufeln in Kombination mit Fingerhackelementen kombiniert zur Pflege von Dammlanken (Foto: Firma Thomas Hatzenbichler Agro-Technik)

Rollhacke

Rollhacken sehen ähnlich aus wie Sternhacken, funktionieren jedoch völlig anders. Die Arbeitswerkzeuge (Rotoren) sind genau in Fahrtrichtung gestellt und bestehen aus 16 radial angeordneten löffelartig geformten Zinken, die durch die Fahrtbewegung in Rotation versetzt werden. Die Zinkenenden nehmen nach jedem Einstich in den Boden etwas Erde auf und schleudern sie im Laufe der Rotation wieder ab (siehe **Abbildung 9**). Unkraut kann so einerseits ausgestochen und andererseits mit Erde bedeckt werden. Trotz der dicht stehenden Zinken sind meist zwei Überfahrten für ausreichende Regulierungseffekte zu empfehlen.



Abbildung 9: Rollhacke in der Seitenansicht (Grafik: Firma Einböck)

Die Rollhacke lässt Arbeitsgeschwindigkeiten bis weit über 10 km/h zu. Erfahrungsgemäß arbeitet sie auf bindigen Böden intensiver als auf stärker sandigen Böden. Konzipiert ist die Rollhacke für den vollflächigen Einsatz, also auch für den Bereich in der Kulturpflanzenreihe. Das heißt, die Wirkung auf die Kultur ist gesondert zu prüfen.

Bügelhacke

Die Bügelhacke ist für den frühen Einsatz in Saatkulturen auf leichten Böden gut geeignet. Die besondere Werkzeugform erfordert auch bei relativ hoher Fahrgeschwindigkeit keinen zusätzlichen Schutz der Kulturreihen gegen aufgeworfenen Boden.

In **Abbildung 10** ist die Reihe der offenen korb- oder zylinderförmigen Arbeitswerkzeuge zu sehen. Eine zweite Reihe dahinter (gelb) ist daran über einen Kettenantrieb mit Übersetzung gekoppelt, sodass die Korbreihen mit unterschiedlichen Drehzahlen arbeiten. Somit werden die Stäbe der Körbe aktiv durch den Boden bewegt. Das Unkraut wird von diesen Stäben gejätet.



Abbildung 10: Bügelhacke im Einsatz auf einem leichten Boden (Foto: Firma K.U.L.T. Kress Umweltschonende Landtechnik)

3.2.1.3 Maschinell angetriebene Geräte

Reihenfräse

Die Reihenfräse ist aus dem Baumschul- und Erdbeeranbau bekannt. Sie ist gut einsetzbar gegen fest etabliertes Unkraut in mehrjährigen Kulturen. Außerdem eignet sie sich gut zur Einhegung der Pflanzenreihen, zum Beispiel bei Pfefferminze. Die intensive Bodenbearbeitung kann jedoch zur Verschlämmung und zur Vermehrung von Wurzelunkräutern wie Quecken führen.

Angetriebene Rotationsscharhacke

Eine relativ neue Entwicklung auf dem Markt ist ein Gerät, bei dem Zackenscheiben und Rotationsschare hintereinander flach arbeiten (siehe **Abbildung 11**). Die Zackenscheibe ist mit Zähnen besetzt, rotiert vom Boden angetrieben, bricht den Boden auf und lockert das Unkraut. Das mit Zinken versehene Rotationsschar arbeitet von der Schlepperhydraulik angetrieben gegenläufig und schneller. Dadurch kämmt die Zinken das Unkraut aus. Das Gerät ist für enge Reihenabstände von weniger als 10 cm, frühe Anwendungstermine und frühe Unkrautstadien geeignet. Dank einer Kamerasteuerung ist ein exaktes Arbeitsergebnis möglich.

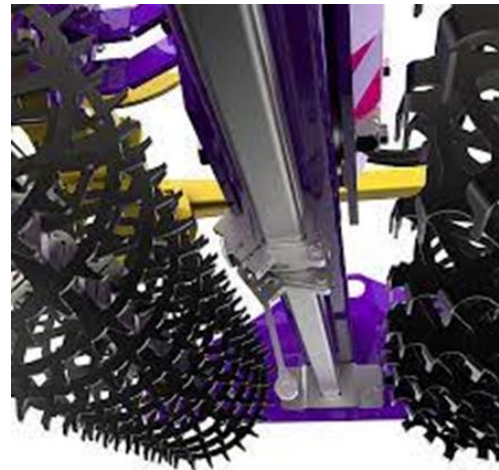


Abbildung 11: Rotationsscharhacke „Feldklasse Rukaby“ mit Zackenscheiben (links) und Rotationsscharen (rechts) auf zwei hintereinander laufenden Achsen (Foto: Firma Feldklasse)

3.2.2 Mechanische Unkrautregulierung in der Reihe der Kulturpflanzen

Für die Untersuchungen im Projekt Optimech wurden gebräuchliche Geräte und Werkzeuge ausgewählt. Diese werden im Folgenden vorgestellt.

3.2.2.1 Präzisionsstriegel

Die hier dargestellten Daten beziehen sich auf den in den Versuchen eingesetzten Zinkenstriegel der Firma Treffler.

Auf einen Blick	
Reihenabstände	Arbeitet reihenunabhängig
Unkrautarten	Vor allem Zweikeimblättrige im Keimblatt- oder Keimfadenstadium
BBCH-Stadien	Kultur: Vorauflauf; im Nachauflauf je nach Pflanzenart, Saattiefe und Bodenstruktur Unkräuter: 08 - 10
Arbeitsbreiten	0,8 - 29 m
Arbeitstiefe	0,5 - 4 cm
Fahrgeschwindigkeit	4 - 8 km/h und mehr

Technische Beschreibung und Wirkweise

Der Präzisionsstriegel dient der Beseitigung von keimenden und auflaufenden Unkräutern im Vor- und Nachauflauf der Kulturpflanzen. Der Striegel arbeitet flächig, das heißt unabhängig von den Kulturreihen. Der optimale Einsatzzeitraum reicht etwa vom Keimfaden- bis zum Keimblattstadium der Unkräuter. Dagegen sollte die Kulturpflanze schon deutlich kräftiger bzw. weiter entwickelt sein als das Unkraut, um bei diesem Arbeitsgang nicht beeinträchtigt zu werden. Bei tiefer gesäten Kulturen, etwa ab 4 cm Tiefe, ist auch ein Striegeln im Voraufbau möglich.

Striegeln führt zu einer flachen Bodenbewegung bis etwa 4 cm Tiefe, auf Sandböden noch erheblich tiefer. Jeder Striegelzinken reißt eine V-förmige Rille in den Boden und wirft die Erde zur Seite auf. Durch die Arbeit der dicht stehenden gefederten Striegelzinken werden die Unkräuter größtenteils verschüttet oder ausgerissen. Die Arbeitstiefe der Zinken lässt sich über die Vorspannung ihrer Federn variieren. Weich eingestellte Federn mit langen Federwegen an jedem Zinken bieten ein hohes Maß der Anpassung an leichte Bodenunebenheiten bei nahezu gleichbleibendem Zinkendruck. Dadurch kann eine einheitliche Arbeitstiefe eingehalten werden. Neben der Arbeitstiefe beeinflusst die Arbeitsgeschwindigkeit maßgeblich die Intensität des Striegeleinsatzes. Mit zunehmender Arbeitstiefe und Fahrgeschwindigkeit steigt aber auch das Risiko, Kulturpflanzen zu schädigen.

Spezieller Aufbau des verwendeten Striegels

Der Präzisionszinkenstriegel der Firma Treffler Maschinenbau GmbH und Co. KG wird als Front- und Heckenbaugerät oder mit Fahrwerk angeboten. Der Strichabstand der Zinken liegt bei 28 mm. Dies führt zu einer ganzflächigen Bodenbearbeitung, bei der Saat- und Pflanzreihen immer mit bearbeitet werden. Jeder Zinken ist mit einer Zugfeder ausgestattet. Über das Vorspannen dieser Zugfedern mittels Drahtseilzügen kann der Zinkendruck stufenlos eingestellt werden. Die Drahtseile werden über eine Welle gespannt. Dabei können Federkräfte auf die Zinkenspitzen übertragen werden, die einer Gewichtskraft von 100 bis 5000 g entsprechen.

Eine gut ablesbare Skala von 0 bis 9 macht jede Einstellung später wieder reproduzierbar (siehe **Abbildung 12**). Darüber hinaus stehen zwei Zinkentypen mit verschiedenen Kröpfwinkeln und das „Kombifeder“-System zur Verfügung. Damit kann der Striegel an verschiedenste Einsatzgebiete angepasst werden. Für empfindliche Kulturpflanzen in Verbindung mit frühem Striegeln empfiehlt der Hersteller die durchweg gleichmäßig ansprechende „Kombifeder“ zusammen mit auf 120° gekröpften Zinken. 120°-Zinken greifen nahezu senkrecht in den Boden ein, während 105°-Zinken mit der Spitze mehr in Fahrtrichtung zeigen (siehe **Abbildung 13**, Seite 20). Eine weitere Einstellmöglichkeit bieten die Stützräder, über die die Rahmenhöhe variiert werden kann. Auf diese Weise lässt sich nicht nur das gesamte Gerät an den Boden anpassen, sondern auch der Arbeitswinkel der Zinken weiter optimieren (siehe **Abbildung 14**, Seite 20).



Abbildung 12: Präzisionsstriegel der Firma Treffler Maschinenbau mit Skala der Zinkenvorspannung von 0 bis 9, hier eingestellt auf den Skalenwert 4 (gelber Zeiger). Einige äußere Zinken sind mit roten Kabelbindern am Rahmen fixiert, um sie außer Betrieb zu setzen (Foto: Andrea Baron)



Abbildung 13: Präzisionsstriegel im Einsatz. Montiert sind „Kombifedern“ und Zinken mit einem Kröpfwinkel von 105°. Die äußeren Zinken sind zur Verringerung der Arbeitsbreite am Rahmen fixiert und damit außer Betrieb. (Foto: Christine Kolm)



Abbildung 14: Pendelstützräder im Heck stabilisieren zusätzlich die Höhenführung des Präzisionsstriegels über dem Boden. (Foto: Christine Kolm)

Konfigurations- und Einstellmöglichkeiten beim Präzisionsstriegel und deren Effekte

Arbeitsgeschwindigkeit	Einstellung	Mit steigender Geschwindigkeit nimmt zu: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schüttwirkung ▪ Krümeln des Bodens ▪ Schäden an Kulturpflanzen ▪ Wirkungsgrad gegen Unkraut
Federvorspannung der Zinken	Einstellung	Steigender Zug erhöht den Druck auf die Zinken; dieser erhöht: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Arbeitstiefe ▪ Schüttwirkung ▪ Aufbrechen von Bodenkrusten ▪ Schäden an Kulturpflanzen ▪ Wirkungsgrad gegen Unkraut
Gerätehöhe über dem Boden	Einstellung	Verändert den Arbeitswinkel der Zinken; Größere Höhe vergrößert: <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schäden an Kulturen (Zinkenspitzen senkrecht zum Boden oder mehr schleppend empfiehlt sich für Pflanzkulturen) ▪ Durchgang unter dem Geräterahmen ▪ Vorspannung der Zinkenfedern nur gering
Neigung der Maschine	Einstellung	Waagrecht (empfohlene Einstellung; am Oberlenker)
Kröpfungswinkel der Zinken	Konfiguration	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Standardwinkel 105°, intensivere Wirkung ▪ Winkel 120°: schonendere Wirkung, z. B. für Sonderkulturen, bei Mulchsaaten mehr Durchgang für Mulch

Tipps

- Höchste Wirkungsgrade der Unkrautregulierung im Keimfaden- und Keimblattstadium, abnehmende Wirkung bei zunehmender Größe der Unkräuter. Frühe Überfahrten lohnen sich, selbst wenn noch keine Unkräuter an der Bodenoberfläche sichtbar sind.
- Der Erfolg des Zinkenstriegels ist stark abhängig von der Bodenbeschaffenheit. Ein trockener, krümeliger bzw. schütffähiger Boden ist die Grundlage für den Regulierungserfolg. Gezielte Einsätze vor und nach Niederschlägen erhalten die Schütffähigkeit des Bodens.
- Der Einsatz des Zinkenstriegels nach oder in Kombination mit einer Hacke zerkleinert die Bodenkrümel noch stärker, legt die Unkrautwurzeln besser frei und kann so die Wirkung verbessern.
- Positive Nebeneffekte: Der Oberboden wird durch Brechung von Krusten besser durchlüftet; Wasser kann besser in den Boden eindringen und die Verdunstung wird durch das Unterbrechen des kapillaren Wasseraufstiegs verringert.
- Fahrgeschwindigkeiten von über 6 km/h sind realisierbar. Dabei kann es aber zum Aufschwingen vor allem bei leichten Geräten kommen. Dies passiert insbesondere bei größeren, einzelstehenden Pflanzenhorsten, z. B. in mehrjährigen Melissebeständen.

3.2.2.2 Rollstriegel

Die hier dargestellten Daten beziehen sich auf den in den Versuchen eingesetzten Rollstriegel der Firma Einböck.

Auf einen Blick	
Reihenabstände	Arbeitet reihenunabhängig
Unkrautarten	Zweikeimblättrige
BBCH-Stadien	Kultur: Vor- und Nachauflauf Unkräuter: bis 19
Arbeitsbreiten	1,5 - 18 m
Arbeitstiefe	0,5 - 4 cm
Fahrtgeschwindigkeit	Bis zu 10 km/h

Technische Beschreibung und Wirkweise

Der Rollstriegel arbeitet im Prinzip wie ein Federzinkenstriegel: Das Unkraut wird verschüttet oder ausgerissen. Die Werkzeuge des Rollstriegels bestehen aus Stahlstiften, die radial in einen Kunststoffträger eingegossen sind. Durch eine deutliche Anstellung der Arbeitswerkzeuge zur Fahrtrichtung kommen die Zinken in Rotation und werden dabei gleichzeitig durch den Boden gezogen. Dadurch wird der Boden gelockert und bewegt, genau wie beim Zinkenstriegel. Unkräuter können dabei entwurzelt oder verschüttet werden, Keimlinge im Fadenstadium vertrocknen.



Abbildung 15: Rollstriegel (Einböck) mit 3 m Arbeitsbreite für Versuchspartzen (Foto: Andrea Baron)



Abbildung 16: Einzelne Arbeitswerkzeuge des Rollstriegels bei der Bearbeitung von gepflanzter Pfefferminze (Foto: Andrea Baron)

Die Arbeitstiefe lässt sich in einem weiten Bereich durch Federsysteme einstellen (siehe **Abbildung 17**). Damit ist auch eine flache Bearbeitung zu einem frühen Einsatztermin möglich (siehe **Abbildung 16**). Einer der besonderen Vorzüge des Rollstriegels ist: Durch die rotierenden Sterne kommt es kaum zu Verstopfungen durch organisches Material. Mit ihm lassen sich auch festere Bodenkrusten gut brechen. Außerdem wird der Pflanzenbestand durch die Rotation der Zinken schräg zur Fahrtrichtung gestriegelt, wodurch die Saatreihe gleichmäßig bearbeitet wird.



Abbildung 17: Hydraulische stufenlose Einstellung des Zinkendrucks in 5 Stufen beim Einböck-Rollstriegel (Foto: Matthias Bernschein)

Zu beachten ist Folgendes: Da sich die Zinken auf einer Kreisbahn bewegen, arbeiten sie nicht gleichmäßig in einer Tiefe. Darüber hinaus kommt es aufgrund des Durchmesser der Werkzeuge zu einem größeren Strichabstand im Vergleich zu Federzinkenstriegeln. Schäden an den Kulturen entstehen vor allem durch Verschütten oder Ausreißen von Keimlingen der Kulturpflanzen bei zunehmender Arbeitsgeschwindigkeit und steigender Arbeitstiefe.

Einstellmöglichkeiten beim Rollstriegel und deren Effekte

Arbeitsgeschwindigkeit	<p>Mit steigender Geschwindigkeit nimmt zu:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schüttwirkung ▪ Krümeln des Bodens ▪ Schäden an Kulturpflanzen ▪ Wirkungsgrad gegen Unkraut
Druck auf Zinken	<p>Stufenlos von 0 bis 5 Skaleneinheiten</p> <p><i>Beachte: Zinken bewegen sich auf einer Kreisbahn und arbeiten dadurch nicht genau in einer Tiefe</i></p> <p>Steigender Druck auf die Zinken erhöht:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schüttwirkung ▪ Aufbrechen von Bodenkrusten ▪ Schäden an Kulturpflanzen ▪ Wirkungsgrad gegen Unkraut
Gerätehöhe über dem Boden	<p>Beeinflusst:</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ Schwingungsverhalten des gesamten Gerätes <p><i>Beachte: nicht zur Verstellung der Arbeitstiefe vorgesehen</i></p>
Neigung der Maschine	<p>Empfohlene Einstellung mittels Oberlenker: Waagrecht bis sehr gering nach hinten abfallend (1 - 2 Umdrehungen des Oberlenkers)</p> <p><i>Beachte: nicht zur Variation der Arbeitstiefe vorgesehen; längerer Oberlenker senkt die Zinken ab, der Druck erhöht sich dabei geringfügig</i></p>

Tipps

- Um eine gleichmäßige Bearbeitung zu gewährleisten und um Pflanzenschäden zu vermeiden, sollte auf eine gleichmäßige Bodenoberfläche geachtet werden.
- Größere Wildpflanzenhorste können den Wirkungsgrad nahe der Kulturreihe negativ beeinflussen. Treffen die Sternräder auf einen höher liegenden Pflanzenhorst, ist es aufgrund des Durchmesser des Werkzeuges und dem breiten Strichabstand kaum möglich, vorhandene Unkräuter nahe der Kulturpflanze zu bekämpfen.
- Bei Saatkulturen in frühen BBCH-Stadien sollte auf eine reduzierte Fahrgeschwindigkeit geachtet werden.
- Nachernteverfahren: Durch den Einsatz des Rollstriegels nach einem Ernteschnitt kann überschüssige Blattmasse entfernt oder die abgesetzte Bodenoberfläche für weitere Striegeldurchgänge gelockert werden.
- Höchste Wirkungsgrade der Unkrautregulierung im Keimblattstadium; mit zunehmender Etablierung der Unkräuter nimmt die Wirkung ab. Frühe Überfahrten lohnen sich, selbst wenn noch keine Unkräuter sichtbar sind.
- Positive Nebeneffekte: bessere Durchlüftung des Oberbodens, höhere Wasserinfiltration, Bodenwasser sparend, effektive Krustenbrechung

3.2.2.3 Fingerhacke

Die hier dargestellten Daten beziehen sich auf die in den Versuchen eingesetzte Fingerhacke der Firma K.U.L.T.

Auf einen Blick	
Reihenabstände	Ab 25 cm
Unkrautarten	Vor allem Zweikeimblättrige
BBCH-Stadien	Kultur: ab 13 - 14 Unkräuter: bis 60
Arbeitsbreiten, Anzahl Reihen	Wie Hackmaschinen
Arbeitstiefe	2 - 4 cm
Fahrgeschwindigkeit	2 - 7 km/h

Technische Beschreibung und Wirkweise

Die Fingerhacke dient der Unkrautregulierung in den Reihen. Scheiben aus zähem, aber flexiblem Kunststoff mit einem Kranz aus Fingern geben diesem Gerät den Namen. Die bodenangetriebenen, rotierenden Fingerscheiben greifen in einem flachen Winkel in den Boden ein und reißen Unkräuter aus bzw. verschütten diese (z. T. bis BBCH 60). Die Arbeitstiefe sowie die Distanz der Fingerscheiben sind einstellbar, wobei die Finger ähnlich wie Zahnräder auch ineinandergreifen können. Die Scheiben gibt es in unterschiedlichen Härtegraden und Durchmessern zur Anpassung an die Kultur und die Bodenart. Der Boden wird bei dieser Arbeit an

der Oberfläche zwischen den Kulturpflanzen aufgelockert (siehe **Abbildung 18**). Eine hohe Präzision in der Steuerung längs der Kulturpflanzenreihe ist eine wichtige Voraussetzung für den Arbeitserfolg.

Die Haltbarkeit der Fingerhacke wird begünstigt durch schmierbare Kugellager der drehenden Teile und durch abriebfestes Kunststoffmaterial der Fingerscheiben.

Eine Garnitur Fingerhackelemente besteht aus einem gefederten Tragarm und einem angeklemmten Werkzeugträger für die zwei Fingerhacksterne, jeweils mit Stiel. Die Stiele sind ebenfalls mit einer Schraube geklemmt, sodass eine stufenlose Einstellung erfolgen kann. Der Anbau dieser Elemente ist an alle gängigen Hacksysteme im Front-, Heck- oder Zwischenachsenanbau möglich. Die Masse je Element beträgt ca. 25 kg.



Abbildung 18: Fingerhackelemente bei der Unkrautregulierung im Bereich der Arnika-Pflanzenreihe in Kombination mit einer Scharhacke (Foto: Andrea Baron)



Abbildung 19: Die Fingersterne (gelb) werden durch die darunterliegenden Metallkränze über den Boden angetrieben. (Foto: Johannes Siebigteroth, Universität Bonn)

Konfigurations- und Einstellmöglichkeiten der Fingerhacke und deren Effekte

Neigung der Fingerhackelemente	Konfiguration bzw. Einstellung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 30° ist intensiv, auch für härtere Böden ▪ 15° ist schonender
Fingerabstand (Abstand der Sterne)	Einstellung	Je enger, desto wirksamer in der Reihe Auch das Ineinandergreifen der Finger ist möglich
Arbeitsgeschwindigkeit	Einstellung	Je schneller, desto intensiver Grenze entsteht durch notwendige Präzision beim Steuern
Härtegrade der Finger	Konfiguration	Je härter, desto intensiver Mit Kultur- und Bodenzustand abstimmen
Gerätehöhe vom Boden	Einstellung	Je tiefer, desto intensiver und wirksamer gegen größere Unkräuter

Tipps

- Kombination mit Scharhacke ist zu empfehlen
- Höchste Wirkungsgrade im Keimblattstadium, abnehmende Wirkung ab Zweiblattstadium, Bekämpfung von etablierten Gräsern schwierig
- Besonders in gepflanzten Kulturen früh einsetzbar
- Brechen von Bodenkrusten

- Wichtig ist es, den Boden in der Sä- oder Pflanzreihe mit der Fingerhacke locker zu halten.
- Möglichst früh einsetzen, um lockeren Boden in und um die Sä- und Pflanzreihe zu erhalten.
- An- und Abhäufeleffekt bei lockerem Boden durch die Fingerhacke nutzen.
- Haupteinstellgrößen sind die Fingerwahl und der Abstand der Fingersterne.
- Fingerelemente mit kleineren Durchmessern besitzen höhere Rotationsgeschwindigkeiten, die höhere Wirkungsgrade oder auch höhere Schädigungsgrade erreichen.
- Die Größe der Fingerelemente sollte in Abhängigkeit von der Kulturreihenbreite und der Bodenbeschaffenheit ausgewählt werden. Geringe Abstände oder ein Ineinandergreifen der Fingerspitzen führen zu einem geringeren Abstand des Antriebkranzes an die Kulturreihe. Dadurch können Schäden an den Kulturpflanzen entstehen. Die Finger der großen Fingerelemente besitzen größere Durchmesser, sodass die Fingerelemente auch bei festeren Bodenbedingungen eingreifen können.
- Insbesondere die Bodenbeschaffenheit und die Bodenfeuchte beeinflussen den Erfolg des Geräteeinsatzes. In abgesetzten, festen Ackerkrumen wird der Einsatz erschwert. Bei feuchten Bodenbedingungen können vorhandene Kluten zerkleinert werden. Zu nasse Bodenverhältnisse auf lehmhaltigen Lössboden führen zum Verkleben der Fingerelemente.

3.2.2.4 Häufelwerkzeuge

Die hier dargestellten Daten beziehen sich auf die in den Versuchen eingesetzten Häufelwerkzeuge der Firma K.U.L.T.

Auf einen Blick	
Reihenabstände	Ab 25 cm
Unkrautarten	Vor allem Zweikeimblättrige, einjährige Arten
BBCH-Stadien	Kultur: ab 14 bzw. ab ausreichender Wuchshöhe Unkräuter: bis 30
Arbeitsbreiten	Entsprechend der Breite der Hackgeräte
Arbeitstiefe	2 - 5 cm
Fahrgeschwindigkeit	2 - 6 km/h

Technische Beschreibung und Wirkweise

Mit dem Anhäufeln werden Unkräuter gezielt in der Reihe der Kulturpflanzen verschüttet und sterben durch den Lichtentzug ab. Dazu muss die Kulturpflanze aber deutlich größer sein als das Unkraut und stabil stehen, um nicht selbst mit Erde zugedeckt zu werden. Im Bereich zwischen den Reihen muss für diesen Arbeitsgang genügend lockerer, schüttfähiger Boden vorhanden sein. Der Boden sollte möglichst stein- und klutenfrei sein.



Abbildung 20: Flachhäufelschar an einem Gänsefußschar montiert für leichtes Anhäufeln bei geringer Kulturhöhe. Links: Anbau am Gerät (Foto: Johannes Siebigteroth, Universität Bonn). Rechts: Wirkung im Boden (Foto: Matthias Bernschein)

Kleine Häufeldämme haben eine Höhe von etwa 5 cm bei kleiner Basisbreite. Robuste Kulturen lassen sich bis auf 30 cm Höhe anhäufeln. Ist der Boden nicht krümelig, sondern klutig, kann weiterhin Licht durch die Klüfte in den Häufeln an die Unkräuter vordringen und zu einer unerwünschten Regeneration führen. Kleinere Kulturpflanzenarten brauchen ein besonders präzises Anhäufeln, damit sie nicht umknicken oder komplett verschüttet werden, wie etwa im Rosettenstadium.

Häufel entstehen an Hackscharen, speziellen Scheibenwerkzeugen, Häufelkörpern oder an sogenannten Flachhäuflern (siehe **Abbildung 20**). Aber auch Rollhacken leisten diese Arbeit. Das Anhäufeln lässt sich über die Größe der Häufelwerkzeuge, die Arbeitstiefe und die Fahrgeschwindigkeit dosieren. Jede Fahrgeschwindigkeit in Kombination mit den beiden anderen Parametern liefert eine typische Dammausprägung. Geringes Fahrttempo führt zunächst zu zwei kleineren einzelnen Dämmen, die zur Unkrautregulierung längs von noch kleinen Kulturpflanzen genutzt werden kann, wenn der Boden fein genug ist. Die beiden Dämme vereinen sich erst bei wachsender Geschwindigkeit zu einem vollständigen höheren Damm, der das Unkraut in höher gewachsenen Kulturpflanzen überdecken kann. Dammhöhen von etwa 5 bis 30 cm werden zur Unkrautregulierung genutzt. Kleinere Häufel lassen sich in eine Scharhacke oder selbst an einem Hackscharstiel integrieren, während große einen eigenen Tragrahmen haben.



Abbildung 21: Häufelbleche sind für den Einsatz in gut etablierten Kulturen geeignet, da sie größere Bodenmengen bewegen. Oben: Anbau am Gerät. Unten: Einsatz im Boden (Fotos: Matthias Bernschein)

Der mehrfache Wechsel von Aufbauen und Flachstriegeln der Häufel ergibt hohe Wirkungsgrade in der Unkrautregulierung. Um Häufel wieder abzuflachen, eignen sich Striegel, Flankenmesser oder rotierende Werkzeuge wie zum Beispiel eine entsprechend eingestellte Rollhacke. Mit größeren Hohlenschutzscheiben lassen sich gezielt die Dammflanken abschälen.

Konfigurations- und Einstellmöglichkeiten von Häufelwerkzeugen und deren Effekte

Arbeitsgeschwindigkeit	Einstellung	<ul style="list-style-type: none"> Variiert die Wurfweite des Erdmaterials und damit die Form und Höhe der Dämme
Arbeitstiefe	Einstellung	<ul style="list-style-type: none"> Verändert die Menge an Erdmaterial und damit das Volumen der Dämme
Größe der Häufel	Konfiguration	<ul style="list-style-type: none"> Bestimmt das mögliche Volumen der Dämme Muss zum Reihenabstand passen
Abstand zwischen den Häufelkörpern	Einstellung	<ul style="list-style-type: none"> Bestimmt die Basisbreite und mögliche Höhe der Dämme Anpassung des Durchgangs für die Kulturen
Häufelertyp	Konfiguration	<ul style="list-style-type: none"> Scheiben Sternförmige Werkzeuge Pflügende Körper
Dammformbleche	Konfiguration	<ul style="list-style-type: none"> Stabilisieren steile Dammflanken

Tipps

- Mehrfaches Anhäufeln und wieder Flachziehen führt zu einer intensiven Unkrautregulierung.
- Flache Häufel haben ihre höchsten Wirkungsgrade im Keimblattstadium des Unkrautes.
- Die Kulturpflanze muss zum Anhäufeln stabil genug sein oder triebstark, um sich aus einer Erdüberdeckung wieder befreien zu können.
- Nebeneffekt: Höhere Durchlüftung des Oberbodens durch Krustenbrechung
- Art, Beschaffenheit und Feuchte des Bodens beeinflussen die Schütffähigkeit und somit den Erfolg des Anhäufelns.
- Nachteil: Ablaufendes Wasser an den Dammflanken

3.2.2.5 Torsionshacke

Die hier dargestellten Daten beziehen sich auf die in den Versuchen eingesetzte Torsionshacke der Firma K.U.L.T.

Auf einen Blick	
Reihenabstände	Ab 25 cm
Unkrautarten	Einjährige Arten
BBCH-Stadien	Kultur: ab 13 - 14 Unkräuter: bis 12, bei leichten Böden bis 16
Arbeitsbreiten	entsprechend der Breite der Hackgeräte
Fahrgeschwindigkeit	3 - 6 km/h

Technische Beschreibung und Wirkweise

Ein Werkzeulement einer Torsionshacke besteht aus einem Paar tordierbarer Stahlstabkonstruktionen, die jeweils 50 bis 60 cm lang und 7 mm stark sind. Dabei stellt das 15 cm lange,

mit einem Winkel von 135° gekröpfte Endstück des Torsionsstabes – Fuß genannt – das eigentliche Jäteelement dar. Dieser Fuß wird waagrecht flach durch den Boden gezogen, wobei er einen leichten Anstellwinkel aufweist, also leicht quer gestellt ist. Die Füße der beiden Stahlstäbe weisen von rechts und links auf die Pflanzenreihe hin (siehe **Abbildung 22**). Durch variable Klemmstellen lassen sich diese Werkzeuge beliebig nahe an die Kulturpflanzen heranzuführen. Selbst ein Überlappen der Enden ist dabei möglich. Mit der Ausformung von ein oder zwei Schraubenwindungen an den Stahlstäben erhält die Konstruktion die erforderlichen Federeigenschaften, um sich der Pflanzenreihe, aber auch Bodenunebenheiten anpassen zu können. In Betrieb öffnet sich der voreingestellte Werkzeugabstand durch den Widerstand des Bodens wieder etwas, sodass die Kulturpflanzen schadlos die Zinkenenden passieren können. Letztlich wird der Boden aufgelockert und die Unkräuter werden von den Stabfüßen ausgerissen.

Aufgrund ihrer Wirkweise eignet sich die Torsionshacke mehr für robuste Kulturpflanzen, wenn nahe an der Kultur oder zwischen den Kulturpflanzen gearbeitet werden soll.

Torsionshackelemente werden meist an einer Scharhacke montiert, sodass in einem Arbeitsgang eine vollflächige Unkrautregulierung erfolgen kann. Für einen erfolgreichen Einsatz ist eine besonders präzise Lenkung der Hacke erforderlich, um die Kulturpflanzen genau zwischen den Torsionsstäben zu halten.

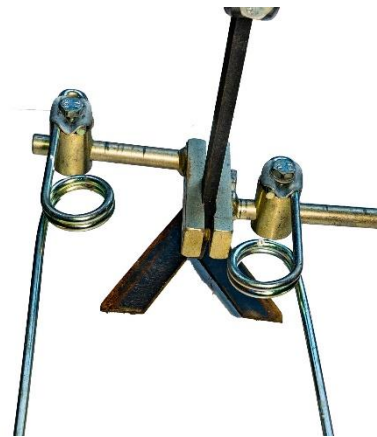


Abbildung 22: Federstab-Hackelemente einer Torsionshacke: Eingriff in den Boden (links), rechts: Fixieren und Einstellen der Neigung der Zinken mittels Schraube am Rundstab (Fotos: Andrea Baron)

Einstellgrößen der Torsionshacke und deren Effekte

Arbeitsgeschwindigkeit	Steigende Geschwindigkeit vergrößert den Zinkenabstand durch Torsion der Zinkenstäbe.
Arbeitstiefe	Zunehmende Tiefe erweitert den Zinkenabstand durch vermehrte Torsion der Zinkenstäbe.
Zinkenstellung	Querstellen der Zinkenenden führt zur flacheren und breiteren Bearbeitung. Überlappende Zinken jäten intensiver, belasten die Kultur mechanisch, aber stärker.

Tipps

- Kombinationsmöglichkeiten mit Flachhackscharen, Gänsefußscharen, Winkelmessern oder einer Sternhacke
- Höchste Wirkungsgrade im Keimblattstadium, abnehmende Wirkung ab Zweiblattstadium
- Eignet sich mehr für leichte, steinfreie Böden
- Auf stark wechselnden Böden ist die Einstellung der Torsionszinken schwierig.
- Einstellungen regelmäßig kontrollieren.
- Eine lockere, weiche Ackerkrume ist von Vorteil; bei abgesetzten, festen oder verkrusteten Bodenoberflächen ist der Einsatz von Torsionszinken ungeeignet.

4 Modellkulturen

4.1 Petersilie



Abbildung 23: Petersilienbestand im Praxisbetrieb, vor Bestandsschluss gehackt (Foto: Andreas Kienast)

Kultur mit früher Aussaat

Petersilie (*Petroselinum crispum*) gehört zur Familie der Doldenblütler (Apiaceae). Von der Petersilie werden hauptsächlich die Blätter als Gewürz verwendet. Es können aber auch die Wurzel oder die Früchte genutzt werden.

Die zwei- bis mehrjährige Petersilie bildet im ersten Jahr eine Blattrosette, die für die Nutzung als Küchenkraut geerntet wird. Aus der Rosette entwickelt sich im zweiten Jahr ein etwa 1,2 m langer Stängel. Petersilie wächst am besten auf mittelschweren, tiefgründigen Böden mit einem pH-Wert von 6 bis 7.

Petersilie wird als frühe Saatkultur ab Ende März direkt ins Freiland gesät. Die Saatstärke liegt zwischen 8 und 9 kg/ha (300 - 400 Pflanzen/m²), der Reihenabstand zwischen 12,5 und 50 cm und die Ablagetiefe bei 2,5 bis 3 cm. Bei einem späteren Anbau (bis Mitte Juni) ist mit geringerem Blattertrag zu rechnen.

Von der Saat bis zum Feldaufgang vergehen je nach Saatzeitpunkt 14 Tage (frühe Saaten) oder 8 Tage bei späten Saatterminen. Kennzeichnend ist die langsame Jugendentwicklung der Petersilie, in der sie eine geringe Konkurrenzskraft gegen Unkräuter besitzt.

Den indirekten Maßnahmen zur Unkrautregulierung vor der Saat kommt bei der Petersilie eine ebenso große Bedeutung zu wie den Maßnahmen vor dem Auflaufen (siehe Kapitel 3.1 Indirekte Maßnahmen). Wichtig ist ein rascher Feldaufgang, um die Pflanzen zügig aus der konkurrenzschwachen Phase zu führen. Dabei hilft die Verwendung von hochwertigem Saatgut, die Ablage des Saatguts auf eine wasserführende Schicht sowie Bewässerung und Vliesabdeckung.

Auf einen Blick: Petersilie	
Familie	Doldengewächse
Saattermin	Ab Ende März
Saatstärke und -tiefe	8 - 9 kg/ha, 1,5 - 3 cm
Reihenabstand	12,5 - 50 cm
Auflauf	8 - 14 Tage
Besonderheiten	Lange Keimphase

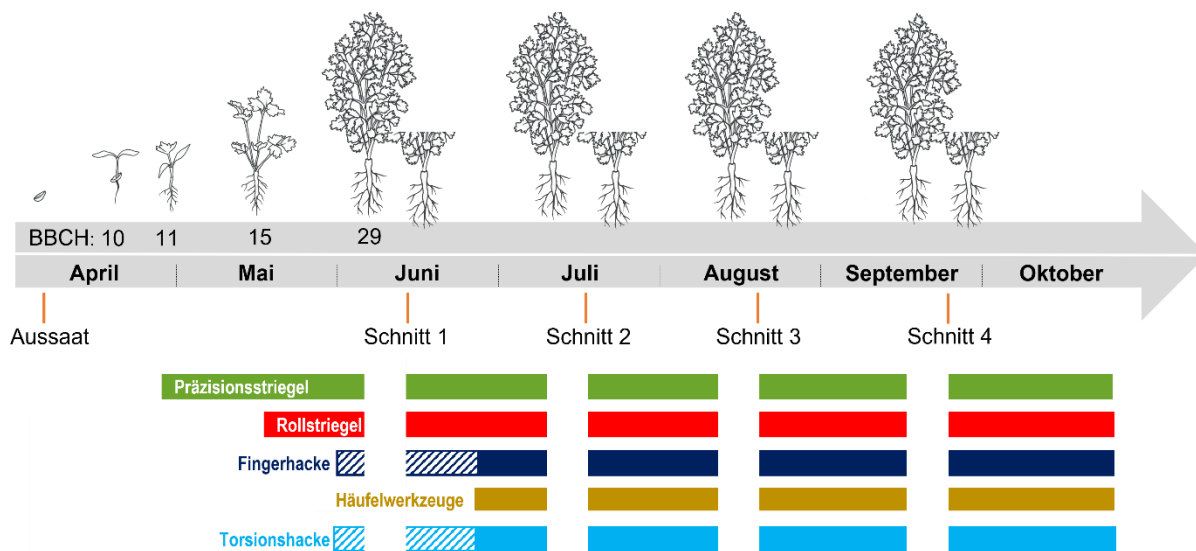


Abbildung 24: Überblick über mögliche Einsatzzeiträume verschiedener Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung in der Reihe in gesäter Petersilie, basierend auf den Optimech-Versuchen

In der Keimblattphase (BBCH 10) reagiert die Petersilie empfindlich auf Verschüttung. Mit den voll ausgebildeten Keimblättern und dem ersten fiederblättrigen Laubblatt (BBCH 11, meist 3 bis 4 Wochen nach der Saat) bildet die Petersilie eine Pfahlwurzel aus. Sie stabilisiert die Pflanze und gibt ihr Widerstandskraft für die erste mechanische Unkrautregulierung in der Reihe (siehe **Abbildung 24**). Nach Bestandsschluss können mechanische Maßnahmen zur Verunreinigung des Ernteguts führen.

Die ideale Phase für eine erste intensive Unkrautregulierung ergibt sich nach dem ersten Ernteschnitt. Meist werden ganzflächige Maßnahmen, zum Beispiel mit einem Striegel, zum Beseitigen der restlichen Biomasse mit der Unkrautregulierung kombiniert. Pro Jahr können je nach angestrebter Bestandshöhe zur Ernte drei bis sechs Schnitte erfolgen.

Alle in den Optimech-Versuchen geprüften Geräte eignen sich zur Unkrautregulierung in Petersilie, vor der ersten Ernte jedoch nur der Präzisions- und der Rollstriegel (siehe **Abbildung 24**, Seite 31). Ob sich die Torsionshacke in dieser Phase eignet, konnte nicht geklärt werden.

Wie wirkte sich die mechanische Unkrautregulierung auf den Ertrag aus?

- Insgesamt wurden zum ersten Schnitt der Petersilie an zwei von vier Versuchen deutliche ertragsreduzierende Effekte durch die mechanische Unkrautregulierung festgestellt. Diese ergaben sich vor allem bei frühen Geräteeinsätzen (BBCH 11 - 15) und stark trockener, verkrusteter Bodenoberfläche, in Kombination mit hohen Temperaturen. Zum 2. Schnitt der Petersilie zeigten sich kaum Ertragsminderungen.
- Bei zwei von vier Versuchen verminderte der frühe Einsatz des Präzisionsstriegels im Entwicklungsstadium bis BBCH 15 den Blattertrag der Petersilie im Vergleich zur Kontrolle. Als Ursachen kommen in beiden Versuchen ein sehr trockener Boden und hohe Lufttemperaturen zum Zeitpunkt des Striegeleinsatzes in Frage. In keinem Fall wurden ausgedünnte Bestände durch Ausreißen der Pflanzen beobachtet. Allerdings kam es zu Verschüttungen der Pflanzen. Wahrscheinlich haben sich zudem Blatt- oder Wurzelschäden negativ auf den Ertrag ausgewirkt.
- Auch der frühe Einsatz des Rollstriegels führte in einem von zwei Versuchen zu Ertragsverlusten im ersten Schnitt, wobei auch hier Bodentrockenheit in Kombination mit einem frühen und häufigen Einsatz und hohen Temperaturen ursächlich waren.
- Negative Ertragsauswirkungen eines frühen Einsatzes von Fingerhacke und Torsionshacke wurden nur in einem Versuch ermittelt, der zudem wegen des trockenheitsbedingt schlechten Auflaufens keine eindeutige Aussage zulässt.
- Beim zweiten Aufwuchs führten die Unkrautmaßnahmen mit den jeweiligen Geräten in keinem der drei Versuche zu einer nennenswerten Ertragsminderung (siehe **Abbildung 25**).

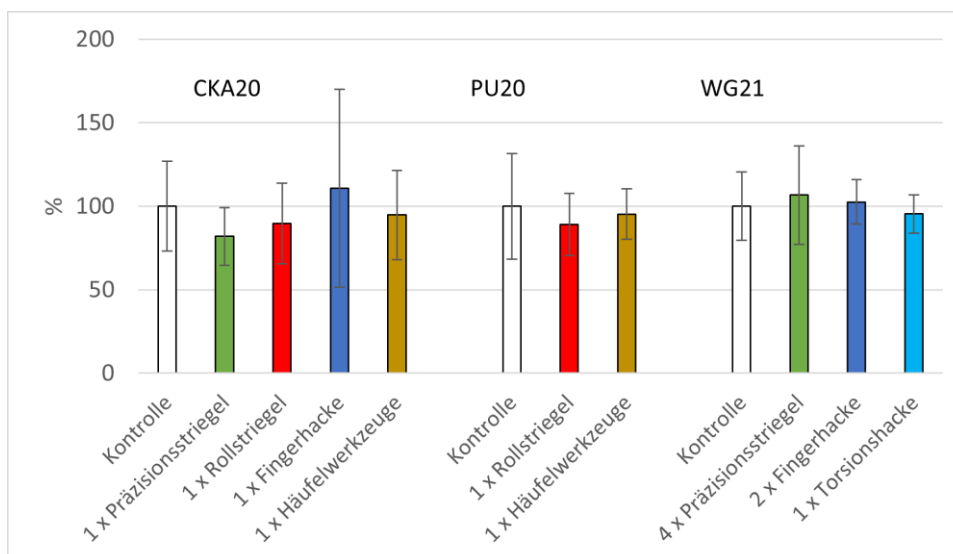


Abbildung 25: Einfluss verschiedener Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung auf den Relativertrag (Trockenmasse, ganzes Kraut) des zweiten Schnitts von gesäter Petersilie im Vergleich zur manuellen Unkrautregulierung (Kontrolle = 100 %) in vier Versuchen (CKA20: Campus Klein-Altendorf 2020, PU20: Puch 2020, WG21: Campus Wiesengut 2021)

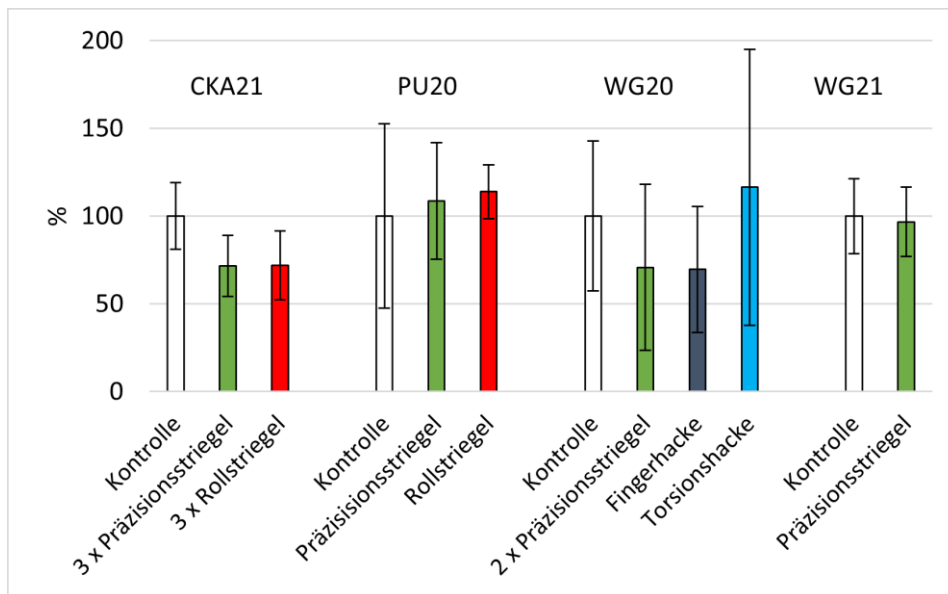


Abbildung 26: Einfluss verschiedener Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung auf den Relativertrag (Trockenmasse, ganzes Kraut) des ersten Schnitts von gesäter Petersilie im Vergleich zur manuellen Unkrautregulierung (Kontrolle = 100 %) in vier Versuchen (CKA21: Campus Klein-Altendorf 2021, PU20: Puch 2020, WG20: Campus Wiesengut 2020, WG21: Campus Wiesengut 2021)

4.1.1 Präzisionsstriegel

Kennzahlen für die Einstellungen des Treffler-Präzisionsstriegels in Petersilie

- Frühester Einsatzzeitpunkt: BBCH 11
- Fahrgeschwindigkeit: 2 - 8 km/h
- Federspannung der Zinken: Skala 2 - 4 bis 1. Schnitt, danach 4 - 7
- Arbeitstiefe: 1 - 5 cm

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte des Präzisionsstriegels in Petersilie				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Petersilie
Vor dem 1. Schnitt, Pflanzhöhe: 2 - 10 cm, BBCH 11 - 15	Spanne	24 - 100	4 - 30	Pflanzen verschüttet, einzelne Pflanzen herausgerissen
	Median (Geräteeingänge) ³	47 (6)	6 (7)	
Nach dem 1. Schnitt	Spanne	0 - 100	0 - 30	Blätter ausgerissen, verschüttet
	Median (Geräteeingänge) ³	82 (9)	5 (9)	

¹) Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²) Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³) Anzahl der Geräteeingänge in Exaktversuchen

Erfahrungen aus den Versuchen

- Bei weichem bzw. feuchtem Boden führten hohe Fahrgeschwindigkeiten (7 - 8 km/h) und die damit einhergehende feinere Krümelung des Bodens zu weniger Verschüttung durch den Präzisionsstriegel. Die Maßnahmen wurden dabei von Petersilie im BBCH 13 gut vertragen. Gleichzeitig sollte die Federspannung geringgehalten werden, da sonst größere Kluten entstehen, die die Petersilienpflanzen verschütten.
- Bei verkrustetem, hartem und trockenem Boden hingegen war der Schädigungsgrad der Kultur sowohl bei hoher als auch bei niedriger Fahrgeschwindigkeit hoch. Das war unter anderem auch auf die gröberen Schollen zurückzuführen, die die Kultur stärker bedeckten.
- Insbesondere bei den frühen Einsatzterminen, etwa bis BBCH 15, haben die Bodenfeuchte und die Bodenstruktur entscheidenden Einfluss auf den Schädigungsgrad. Daher muss in der frühen Kulturphase bei trockenem Boden und trockener Witterung oberflächlich gearbeitet werden. Das heißt, der Zinkendruck des Präzisionsstriegels muss so schwach eingestellt werden, dass die Zinken den Wurzelraum der Petersilie nicht bewegen und die Pflanzen nicht lockern. Ein flacherer Anstellwinkel könnte zusätzlich den Eingriff abschwächen. Beides begrenzt jedoch die Wirksamkeit gegen bereits aufgelaufene Unkräuter, was deutlich macht, wie wichtig die Vorsaat- und Vorauflaufmaßnahmen sind.
- Bei einer Kulturhöhe von 5 cm (BBCH 13) führte eine 10-prozentige Verschüttung der Kultur (direkt nach dem Maschineneinsatz bei idealem Bodenzustand, siehe **Abbildung 27**) nicht zu verminderten Erträgen beim 1. Schnitt. Auch bei späteren Einsätzen (BBCH 15, Höhe 22 cm) wurde die Petersilie immer noch teils stark verschüttet.
- Zu erwägen sind erhöhte Saatstärken, um bei geplanten frühen Striegelmaßnahmen mehr Spielraum zu haben.



Abbildung 27: Den Einsatz des Präzisionsstriegels am Campus Wiesengut (2021) hat die Petersilie bei einer Kulturhöhe von 5 cm (BBCH 13), Fahrgeschwindigkeit = 2 km/h, Arbeitstiefe = 2 cm gut vertragen (Foto: Charlotte Junker)

4.1.2 Fingerhacke

Kennzahlen für die Einstellungen der K.U.L.T. Fingerhacke in Petersilie:

- Frühester Einsatzzeitpunkt: nach dem 1. Schnitt
- Fahrgeschwindigkeit: 3 - 5 km/h
- Abstand Finger: -1 bis -4 cm (überlappend)
- Härte der Finger: von Härte des Bodens abhängig

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte der Fingerhacke in Petersilie				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Petersilie
Nach dem 1. Schnitt	Spanne	71 - 100	0 - 4	Minimale Verschüttung
	Median (Geräteinsätze) ³	86 (3)	1 (3)	

¹) Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²) Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³) Anzahl der Geräteinsätze in Exaktversuchen

Erfahrungen aus den Versuchen

- Bei frühen Einsätzen vor dem 1. Schnitt wirkte die Fingerhacke auf den zu Verschlämung neigenden Versuchsstandorten stark verschüttend. Entscheidend für den Einsatz der Fingerhacke ist die Schütffähigkeit des Bodens, sodass eventuell eine vorausgehende Striegel- oder Zwischenreihenmaßnahme den Einsatz der Fingerhacke auch schon im BBCH 15 erlaubt.
- Die Fingerhacke konnte nur einmalig vor dem 1. Schnitt eingesetzt werden (Campus Wiesengut 2020, BBCH 15). Zu diesem Zeitpunkt war der Boden an der Oberfläche sehr trocken und verkrustet (Bodenfeuchte = 7 %). Die roten, härteren Finger wurden eingesetzt, um hinreichend im Boden arbeiten zu können. Die daraus resultierende Verschüttung führte zu einer leichten Ertragsminderung.
- Nach dem 1. Schnitt erzielte die Fingerhacke hohe Wirkungsgrade gegen das Unkraut und war nicht ertragsmindernd.
- Wichtig für den frühen Einsatz der Fingerhacke ist es, den Boden in der Säreihe schütffähig zu halten.

4.1.3 Rollstriegel

Kennzahlen für Einstellungen des Einböck-Rollstriegels in Petersilie

- Frühester Einsatzzeitpunkt: BBCH 12
- Fahrgeschwindigkeit: 2 - 4 km/h bis 1. Schnitt, danach bis 7 km/h
- Einstellung Federspannung: Skala 1 - 3 bis 1. Schnitt, danach bis 4
- Arbeitstiefe: 3 cm bis 1. Schnitt, danach bis 5 cm

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte des Rollstriegels in Petersilie				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Petersilie
Ab BBCH 13 bzw. 6 cm Pflanzenhöhe	Spanne	25 - 100	0 - 65	Pflanzen verschüttet, Blätter abgerissen
	Median (Geräteeinsätze) ³	50 (5)	21 (5)	
Nach dem 1. Schnitt	Spanne	45 - 100	0 - 65	Pflanzen verschüttet, Blätter abgerissen
	Median (Geräteeinsätze) ³	63 (2)	17 (2)	

¹) Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²) Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³) Anzahl der Geräteeinsätze in Exaktversuchen

Erfahrungen aus den Versuchen

- Ein früher Einsatz des Rollstriegels im 3-Blattstadium wurde von der Petersilie gut vertragen (3 km/h; Federspannung-Skala 2; 3 cm Arbeitstiefe). Dies war wahrscheinlich dem feuchten Boden (tL) unter der leichten Bodenkruste zu verdanken, der vermutlich die Scherkräfte der eingreifenden Zinken auf die Wurzeln abgemildert und für eine gute Wassernachlieferung an die Wurzeln gesorgt hat. Die Wirkung auf die Unkräuter war ungleichmäßig (0 bis 90 % Wirkungsgrad, Median 43 %), was Folge der unebenen Bodenoberfläche (hervorgerufen durch das Sägerät) war. Die wenigen verschütteten Pflanzen und abgerissenen Blätter wirkten nicht ertragsmindernd.
- Ab dem 5-Blattstadium kann der Rollstriegel mit geringer Intensität eingesetzt werden, um damit auch Bodenkrusten aufzubrechen.
- Der Rollstriegel eignet sich gut, um nach der Ernte eine ideale Bodenstruktur zu erreichen und den Bestand von losem Pflanzenmaterial zu befreien.

4.1.4 Häufelwerkzeuge

Häufelwerkzeuge konnten unter den gegebenen Versuchsbedingungen nur nach dem 1. Schnitt eingesetzt werden (Kulturhöhe = 11 cm) und wirkten nicht ertragsmindernd.



Abbildung 28: Häufelschare im Einsatz in 10 bis 12 cm hoher Petersilie; die Schutzbleche sind angehoben, um die Blätter nicht zu beschädigen (Foto: Christine Kolm).

4.1.5 Torsionshacke

Die Torsionshacke wurde an einem Versuchsstandort nur je einmal vor dem ersten Schnitt im 5-Blattstadium der Petersilie oder nach dem ersten Schnitt eingesetzt. Bei minimaler Schädigung der Kultur (2 bzw. 4 %) waren Wirkungsgrade gegen das Unkraut von 73 % bzw. 78 % erzielbar. Nach dem ersten Schnitt konnte die Torsionshacke die Unkräuter im Inneren der Reihe nicht mehr erfassen. Auf verfestigtem Boden kam die Fixierung der Torsionszinken am Rundstab an ihre Grenzen, sodass die Bearbeitung immer flacher wurde.

4.2 Arnika



Abbildung 29: Arnika 11 Wochen nach der Pflanzung am Standort Baumannshof (Foto: Andrea Baron)

Pflanzkultur mit spätem Reihenschluss und empfindlichen Wurzeln

Arnika (*Arnica montana* L.) gehört zur Familie der Korbblütler und wird als mehrjährige Pflanzkultur angebaut. Die Pflanzung erfolgt in den Monaten April und Mai mit 8 - 10 Pflanzen/m² und 25 - 30 cm Abstand in der Reihe. Für ein rasches Anwachsen im Feld müssen die Jungpflanzen mehrere Laubblätter und ein gutes Wurzelwerk entwickelt haben und zudem gut abgehärtet sein. Kennzeichnend für Arnika ist das langsame Wachstum der Blattrosetten. Das hat zur Folge, dass die Pflanzen im ersten Standjahr erst spät die Unkräuter in der Reihe unterdrücken. Eine weitere Besonderheit von Arnika ist, dass sie empfindlich auf Verletzungen im Wurzelbereich reagiert.

Bei der Unkrautregulierung im Arnika-Anbau kommt den indirekten Maßnahmen vor der Pflanzung – vor allem zur Minimierung von Wurzelunkräutern – eine große Bedeutung zu (siehe Kapitel 3.1). Wichtig ist ein rasches Anwachsen der Pflanzen, um ca. 10 Tage nach der Pflanzung bereits mit der mechanischen Regulierung der auflaufenden Unkräuter beginnen zu können. Dies wird erreicht durch eine hohe Jungpflanzenqualität mit feuchtem Wurzelballen zur Pflanzung. Förderlich ist auch das Pflanzen in ein abgesetztes Pflanzbeet (Kapillarwasseranschluss), das feste Andrücken der Wurzelballen und eine Bewässerung bei Bedarf.

Um bleibende Bestandslücken zu vermeiden, dürfen bei der ersten Unkrautregulierungsmaßnahme keine Pflanzen ausgerissen oder zu stark gelockert werden. Die Unkräuter direkt an den Pflanzen müssen möglichst schonend entfernt werden. Insbesondere Wurzelunkräuter müssen frühzeitig erfasst werden, um nicht später tiefer in den Wurzelraum eingreifen zu müssen. Die kritische Phase endet, wenn sich die breiten Blätter der Rosetten auf der Bodenoberfläche ablegen und keimendes Unkraut beschatten. Nach dem Einziehen

Auf einen Blick: Arnika	
Familie	Korbblütler
Pflanztermin	April - Mai
Pflanzdichte	8 - 10 Pflanzen/m ²
Abstand in der Reihe	25 - 30 cm
Reihenabstand	42 - 50 cm
Besonderheiten	Empfindliches Wurzelwerk

der Pflanzen bis zum Wiederaustrieb im Frühjahr besteht die Gelegenheit für vorsichtige ganzflächige Unkrautregulierungsmaßnahmen. Ab dem zweiten Standjahr schließen die Bestände in den Reihen rasch. Jedoch können Lücken durch ausgefallene Pflanzen entstehen. Werden die Blüten genutzt, reagieren die Blüentriebe sensibel auf mechanische Beanspruchung.

In den Optimech-Versuchen wurden mit dem Präzisionsstriegel ab 2 Wochen nach der Pflanzung (BBCH 20, Bildung von Seitentrieben) sowie mit der Fingerhacke sehr gute bis ausreichende Wirkungsgrade bei guter Kulturverträglichkeit erreicht (siehe **Abbildung 30**).

Dagegen traten mit dem Rollstriegel durchweg nicht akzeptable Schädigungen an den Arnika-pflanzen auf: vor allem in Form von komplett aufgespießten und ausgerissenen Pflanzen in nahezu jedem Kulturpflanzenstadium. Die Torsionshacke lockerte die Pflanzen zu sehr. Die Häufelwerkzeuge wirkten nicht ausreichend in die Reihe hinein, bei einem noch akzeptablen Verschütten der Arnikablätter.

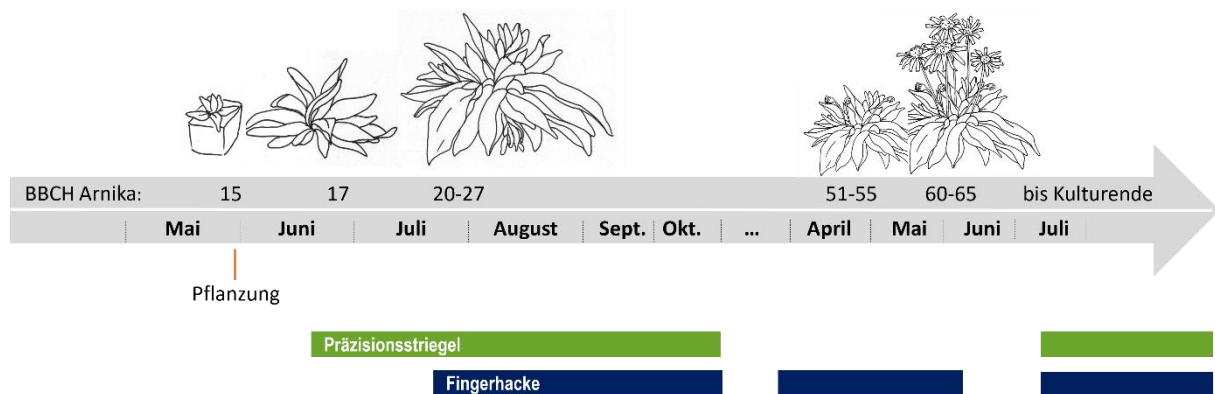


Abbildung 30: Überblick über mögliche Einsatzzeiträume verschiedener Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung in der Reihe in gepflanzter Arnika, basierend auf den Optimech-Versuchen

Wie wirkte sich die mechanische Unkrautregulierung auf den Ertrag aus?

- Die Ertragseffekte konnten lediglich in einem Versuchsjahr am Standort Baumannshof erfasst werden. Hier verringerten sowohl die mehrfachen Einsätze des Präzisionsstriegels als auch die der Fingerhacke den Blütenertrag der ersten Ernte. Sie blieben jedoch ohne Einfluss auf den Wurzelertrag, sodass eine direkte Schädigung der Blüten(anlagen) vermutet wird. Möglicherweise haben die Präzisionsstriegelzinken bei den späteren Bearbeitungsgängen nicht nur einzelne Blätter, sondern auch die Blüentriebeanlagen verletzt. Dies konnte im Rahmen der Schädigungsbonitur jedoch nicht weiter untersucht werden. Beim Arbeitsgang mit der Fingerhacke, der im Knospenstadium (BBCH 55) durchgeführt wurde, war es dagegen offensichtlich, dass vereinzelt Blüentriebe abgebrochen sind. Der einmalige Einsatz der Torsionshacke, der nach dem Winter erfolgte, wirkte sich nicht auf den Blütenertrag aus.

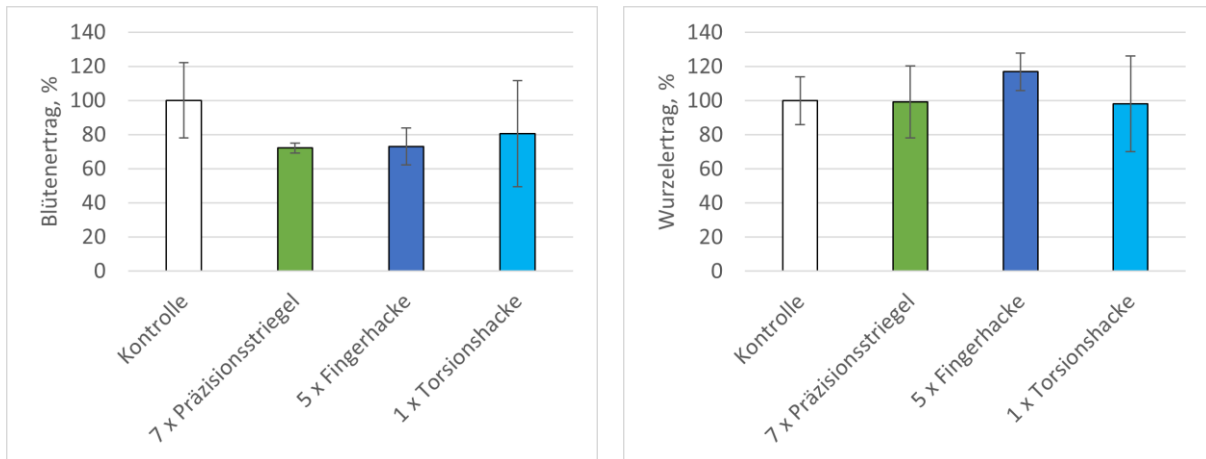


Abbildung 31: Einfluss verschiedener Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung in der Reihe im ersten und zweiten Standjahr auf den relativen frischen Blütenertrag (links) und relativen frischen Wurzelertrag (rechts) im zweiten Standjahr von gepflanzter Arnika im Vergleich zur manuellen Unkrautregulierung (Kontrolle = 100 %) im Versuch am Baumannshof (Pflanzung 2021, Ernte 2022)

4.2.1 Präzisionsstriegel

Kennzahlen für die Einstellungen des Treffler-Präzisionsstriegels in Arnika

- Frühester Einsatzzeitpunkt: 2 - 3 Wochen nach Pflanzung
- Fahrgeschwindigkeit: 3 - 6 km/h (IS) bzw. 2 - 3 km/h (IU - sU)
- Einstellung Federspannung: Skala 3 - 7
- Arbeitstiefe: 2 - 4 cm

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte des Präzisionsstriegels in Arnika				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Arnika
Ab gutem Einwurzeln bis ca. 10 cm Pflanzenhöhe; (ca. 10 Wochen nach Pflanzung, BBCH 22 - 24)	Spanne	46 - 98	0 - 8	Pflanzen leicht verschüttet, vereinzelt gelockert
	Median (Geräteinsätze) ³	81 (9)	4 (9)	
Ab ca. 10 cm Pflanzenhöhe, BBCH 22 - 24	Spanne	63 - 95	0 - 6	Pflanzen leicht verschüttet, einzelne Blätter ausgerissen
	Median (Geräteinsätze) ³	90 (8)	1 (8)	

¹⁾ Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²⁾ Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³⁾ Anzahl der Geräteinsätze in Exaktversuchen

Erfahrungen aus den Versuchen

- Maschinell gepflanzte Arnika-Pflanzen waren nach etwa 3 Wochen fest eingewurzelt und konnten von da ab durchgehend mit dem Präzisionsstriegel bearbeitet werden. Von Hand gepflanzte Bestände dagegen konnten – trotz kräftigen Andrückens – erst nach 6 Wochen gestriegelt werden, ohne die Pflanzen auszureißen.
- Insbesondere bei den ersten Einsätzen des Präzisionsstriegels kann es passieren, dass die Pflanzenwurzeln gelockert werden. Bei hohen Temperaturen kann dies zu Welkesymptomen führen und eine Beregnung erforderlich machen.
- Besonders hohe Wirkungsgrade gegen Unkräuter konnten bei leicht feuchtem, krümeligem Boden erzielt werden. Erreicht wurde dies durch regelmäßige Überfahrten alle 1 bis 2 Wochen. Dadurch konnte auch verhindert werden, dass Unkräuter bis zum nächsten Einsatz zu groß wurden. Allerdings wurden trotz schonender Arbeitsweise Blätter und Wurzeln einiger Pflanzen in Fahrtrichtung umgeknickt.
- Bei verkrustetem Boden konnten die Zinken des Präzisionsstriegels häufig nicht gleichmäßig in der Fläche arbeiten. Vor allem in der Reihe und bei größerem Kulturpflanzenstadium gab es Probleme. Möglicherweise hätte ein steilerer Anstellwinkel mit Eingriff der Zinkenenden gegen die Fahrtrichtung dem entgegengewirkt.
- Mit fortschreitender Bestandsentwicklung konnten bis zum Herbst des Pflanzjahres die Fahrgeschwindigkeit und die Federspannung gesteigert werden.
- Ab dem Frühjahr des zweiten Standjahrs musste mit deutlich geringerer Federspannung als im Herbst (Skala 3 statt 7) gearbeitet werden, um die Wurzeln, die sich nah unter der Oberfläche befanden, nicht freizulegen.
- Die Winterverunkrautung, v. a. sich ausbreitende Vogelmiere, konnte erwartungsgemäß nicht beseitigt werden. Jedoch konnte gegen Vogelmiere im BBCH 30 - 50 eine Teilwirkung erzielt werden.



Abbildung 32: Arnika nach Bearbeitung mit dem Präzisionsstriegel 11 Wochen nach der Pflanzung am Baumannshof (Foto: Andrea Baron)

4.2.2 Fingerhacke

Kennzahlen für die Einstellungen der K.U.L.T.-Fingerhacke in Arnika

- Frühester Einsatzzeitpunkt: 2 - 3 Wochen nach Pflanzung
- Fahrgeschwindigkeit: 1 - 3 km/h
- Abstand Finger: -3 cm (überlappend) bis 2 cm

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte der Fingerhacke in Arnika				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Arnika
Ab gutem Einwurzeln bis ca. 10 Wochen nach Pflanzung, bis 10 cm Pflanzhöhe, BBCH 22 - 24	Spanne	81 - 85	1 - 5	Pflanzen leicht verschüttet, vereinzelt gelockert
	Median (Geräteeingsätze) ³	81 (6)	5 (6)	
Ab ca. 10 cm Pflanzhöhe bzw. 10 Wochen nach Pflanzung, BBCH 22 - 24	Spanne	50 - 100	0 - 10	Pflanzen leicht verschüttet
	Median (Geräteeingsätze) ³	88 (7)	1 (7)	

¹) Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²) Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³) Anzahl der Geräteeingsätze in Exaktversuchen

Erfahrungen aus den Versuchen

- Sobald die Arnika fest eingewurzelt war, konnte die Fingerhacke kulturschonend und mit hohen Wirkungsgraden gegen das Unkraut eingesetzt werden. Dabei konnten auf Sandboden im kleinen Kulturpflanzenstadium die Finger der Hacke zunächst so eingestellt werden, dass sie 3 cm ineinandergriffen (Abstand bis -3 cm). Als sich das Wurzelsystem stärker ausbreitete, musste die Überlappung aufgegeben werden. Von da ab konnten die Finger nur noch auf Stoß und später auf 2 cm Abstand eingestellt werden, um nicht das Wurzelwerk zu schädigen. Im Schluffboden oder bei handgepflanzten Beständen war keine Überlappung möglich, da diese die Ballen gelockert und v. a. kleinere Pflanzen herausgehoben hätte.
- Im Pflanzjahr darf bei sommerlichen trockenen Temperaturen nicht zu tief in den Wurzelraum der Pflanzen eingegriffen werden, da die Kultur sonst schnell unter der schlechten Wasserversorgung leidet. Da infolgedessen nur kleine Unkräuter erfasst werden, sind regelmäßige Einsätze sehr wichtig. Während der Sommermonate empfiehlt es sich zudem, die Fingerhacke erst am späten Nachmittag einzusetzen und, sobald die Unkräuter trocken genug sind, gegebenenfalls zu bewässern, (auch) um die Wurzeln wieder in Bodenkontakt zu bringen. Welche gestresste Bestände konnten nicht bearbeitet werden. Der Schaden war hier zu groß.

- Unmittelbar nach dem Einsatz der Fingerhacke waren die Arnikablätter häufig leicht mit Erde bedeckt. Diese verschwand jedoch in den Folgetagen durch Wind und Regen wieder.
- Um die Fingerhacke im ersten Standjahr frühestmöglich und mit größtmöglicher Intensität einsetzen zu können, sind vitale Arnikabestände erforderlich. Die Basis dafür sind vitale und homogene Jungpflanzen, die bei der Pflanzung fest angedrückt und bei Bedarf vor und nach der Pflanzung bewässert werden.
- Im zweiten Standjahr konnte die Fingerhacke weiter eingesetzt werden. Die gut entwickelte Kultur erlaubte Fahrgeschwindigkeiten bis 5 km/h, wodurch eine gute Unkrautwirkung erzielt wurde. Im bewässerten Bestand auf Sandboden war der Eingriff auf maximal 4 cm Tiefe begrenzt, weil sonst Wurzeln freigelegt oder beschädigt worden wären.
- Bei Blütennutzung kann die Fingerhacke spätestens dann nicht mehr eingesetzt werden, wenn die Bauteile des Geräts die Schosstriebe berühren.

4.2.3 Rollstriegel

Mit dem Einböck-Rollstriegel konnten während des Versuchszeitraums keine erfolgreichen Einsätze in Arnika gefahren werden. In nahezu jedem Kulturpflanzenstadium kam es zu großen Schädigungen, vor allem in Form von komplett aufgespießten und ausgerissenen Pflanzen.

4.2.4 Häufelwerkzeuge

Die Häufelwerkzeuge (Hersteller K.U.L.T.) erwiesen sich in den Versuchen am Standort Baumannshof als nicht geeignet für den Einsatz in Arnika – zumindest nicht in der gewählten Konfiguration mit Hohlschutzscheiben, Winkelmessern und Gänsefußscharen. Im frühen Kulturpflanzenstadium konnte eine zufriedenstellende Unkrautregulierung nur bei starker Verschüttung der Arnikapflanzen erreicht werden. Besonders die kleinen Pflanzen reagierten negativ auf die Verschüttung. Bei größeren, älteren Arnikapflanzen mussten die Hohlschutzscheiben, die zum Häufeln mitverwendet wurden, entfernt werden, um eine Schädigung des Blatt- und Wurzelwerks an den Kulturpflanzen zu vermeiden. Mit den Gänsefußscharen allein konnte keine passable Wirkung gegen das Unkraut in der Reihe erzielt werden. Zum Einsatz von Flachhäuflern und Häufelblechen wurden im Projekt keine Daten erhoben.

4.2.5 Torsionshacke

Die Torsionshacke (Hersteller K.U.L.T.) konnte in Arnika aus mehreren Gründen nicht repräsentativ beurteilt werden. Ein Versuch konnte nicht ausgewertet werden, weil schwächer entwickelte Jungpflanzen beim ersten Einsatz 2 bis 3 Wochen nach der Pflanzung – trotz vorheriger Tests auf der Einstellfläche – verschüttet und teilweise entwurzelt wurden. Darüber hinaus führten technische Schwierigkeiten mit der Justierung der Zinken zu einer inhomogenen Bearbeitung.

Lediglich am Ende des Winters konnte bei trockenem Oberboden (IS) die Torsionshacke eingesetzt werden, ohne die Arnika zu schädigen.

4.3 Melisse



Abbildung 33: Gepflanzte Melisse am Standort Campus Klein-Altendorf (Foto: Martin Pesch, Universität Bonn)

Pflanzkultur oder späte Säkultur

Zitronenmelisse (*Melissa officinalis* L.) gehört zur Familie der Lippenblütler (Lamiaceae) und wird hauptsächlich als mehrjährige Pflanzkultur (meist bis zu 3 Jahren) kultiviert. Melisse bevorzugt nährstoffreiche, sonnige Standorte mit einer guten Wasserführung und einem pH-Wert von 5 bis 7,5. Man unterscheidet im ersten Standjahr niederliegende und aufrecht wachsende Sorten. Dies hat Einfluss auf die Verträglichkeit mechanischer Unkrautregulierungsmaßnahmen in diesem Zeitraum.

Um die hohen Kosten und den Arbeitsaufwand für die Jungpflanzenanzucht einzusparen (ca. 1.800 - 3.200 Euro/ha), kann die Melisse auch als Säkultur angelegt werden. Diese Anbaumethode ist jedoch anspruchsvoll. Sie ist ausschließlich für Standorte mit geringem Unkrautdruck und der Möglichkeit zur Bewässerung geeignet. Außerdem ist geeignete Saattechnik für eine gleichmäßige und flache Ablage nötig.

Melisse als Pflanzkultur

Die Pflanzung erfolgt ab Ende April bis August (Reihenabstand: 40 - 60 cm, Abstand in der Reihe: 25 - 30 cm, 64.000 - 80.000 Pflanzen/ha). Dabei ist es wichtig, dass die Wurzelballen gut befeuchtet und bedeckt sind. Bei andauernder Trockenheit ist eine Bewässerung nach der Pflanzung erforderlich. Nach dem Pflanzen kann die Kultur angewalzt werden, um einen guten Bodenschluss zu erzielen. Die robusten Jungpflanzen erholen sich schnell vom Umknicken.

Zwischen Pflanzung und Bestandsschluss müssen mehrere Maßnahmen zur Unkrautregulierung eingeplant werden. Nach Bestandsschluss können mechanische Maßnahmen zur Verunreinigung des Ernteguts führen.

Bei einer frühen Pflanzung können im ersten Anbaujahr je nach Sorte noch ein bis zwei Ernten erfolgen. Die Ernte erfolgt vor der Blüte bei einer Kulturhöhe zwischen 40 und 60 cm. Die gesamte Biomasse wird auf einer Schnitthöhe von ca. 10 cm geschnitten. Bei einem späteren Erntezeitpunkt nimmt der Stängelanteil im Kraut zu.

Über den Winter kann der Bestand zugehäufelt oder abgedeckt werden, um eine Verunkrautung zu vermeiden. Bei einer Vliesabdeckung ist jedoch darauf zu achten, diese nicht zu früh abzunehmen, da die Kultur frostempfindlich ist.

Auf einen Blick: Melisse als Pflanzkultur	
Familie	Lippenblütler
Pflanztermin	Ab Ende April
Pflanzdichte	6 - 8 Pflanzen/m ²
Abstand in der Reihe	25 - 30 cm
Reihenabstand	40 - 60 cm
Besonderheiten	Dichtpflanzung bei hohem Unkrautdruck (Pflanzendichte: 10 Pflanzen/m ² , 15 cm Abstand in der Reihe)

Melisse als Säkultur

Als mediterrane Pflanze benötigt die Melisse warme Temperaturen (20 – 25 °C) zur Keimung, sodass die Aussaat erst ab Mai erfolgen kann. Um eine gewisse Unkrautunterdrückung in der Reihe zu erzielen, sollte eine Saatstärke von mindestens 3 kg/ha gewählt werden. Die sehr kleinen Samen (TKG 0,6 g) werden aufgrund der schwachen Triebkraft in maximal 0,5 cm Tiefe abgelegt. Zudem variiert die Bedeckungshöhe je nach Sorte. Bei ausreichend Bodenfeuchte, kann die Aussaat vollständig an der Oberfläche erfolgen, wodurch sich die Keimzeit verkürzt. Um eine Austrocknung im späten Frühjahr zu vermeiden, empfiehlt sich eine Kombination aus Bewässerung und Vlies. Der Zeitraum bis zur Keimung beträgt 7 bis 21 Tage. Die gesäte Melisse ist in der Jugendentwicklung langsam und konkurrenzschwach. Daher müssen in diesem frühen Stadium 1 bis 2 manuelle Unkrautregulierungsmaßnahmen eingeplant werden.

Ab einer Kulturhöhe von etwa 10 cm kann eine mechanische Unkrautregulierung in der Reihe ohne Ertragseinbußen erfolgen. Ab diesem Zeitpunkt ist die Kultur robust. Nach Bestandschluss können mechanische Maßnahmen zur Verunreinigung des Ernteguts führen. In den Optimech-Versuchen des Jahres 2021 entwickelte sich die gesäte Melisse nach dem Winter besser als die gepflanzte.

Auf einen Blick: Melisse als Saatkultur	
Familie	Lippenblütler
Saattermin	Ab Mai
Saatstärke	3 kg/ha
Saattiefe	Oberflächlich, maximal 0,5 cm
Reihenabstand	40 - 60 cm
Besonderheiten	Langsame Keimung, Abdeckung mit Vlies und Bewässerung

4.3.1 Gepflanzte Melisse

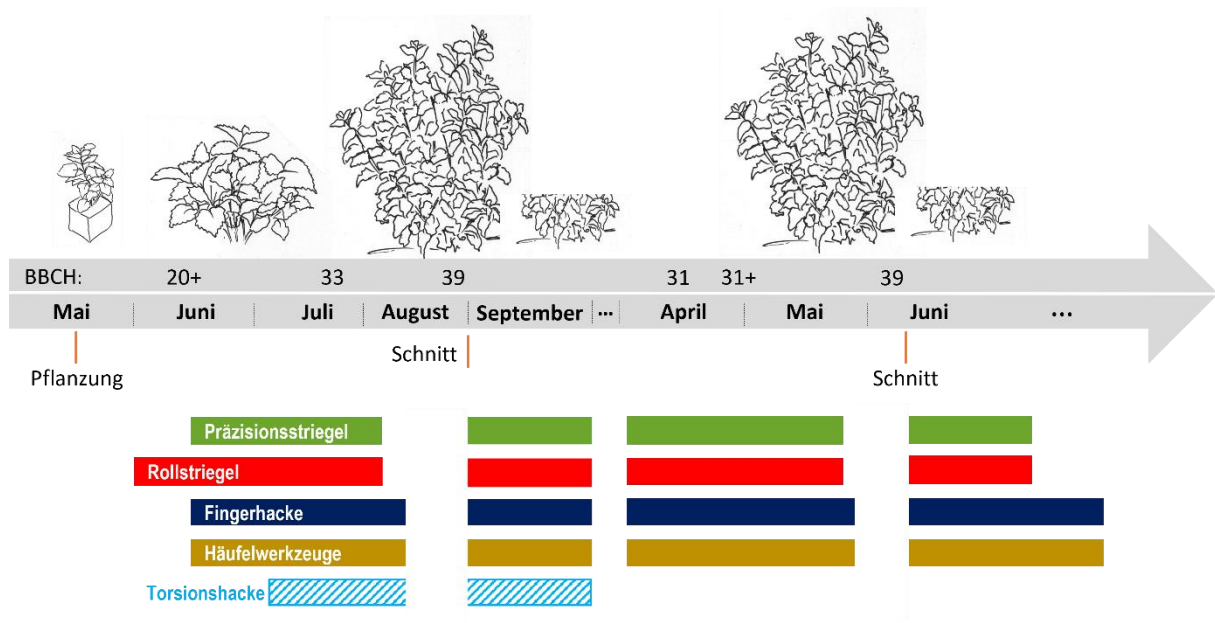


Abbildung 34: Überblick über mögliche Einsatzzeiträume verschiedener Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung in der Reihe in gepflanzter Melisse basierend auf den Optimech-Versuchen

Wie wirkte sich die mechanische Unkrautregulierung auf den Ertrag aus?

- Erfasst wurden vor allem die Effekte der Geräte auf den 1. Schnitt der Melisse. Die Phase der Bestandsetablierung ist von Bedeutung für die Unkrautregulierungsstrategie bei Melisse. Der erste Schnitt ist je nach Sorte auch gekennzeichnet von inhomogener Pflanzenentwicklung. Der mehrfache Einsatz des Präzisionsstriegels wirkte sich nur in einem Versuch leicht auf den Ertrag aus (siehe **Abbildung 35**).

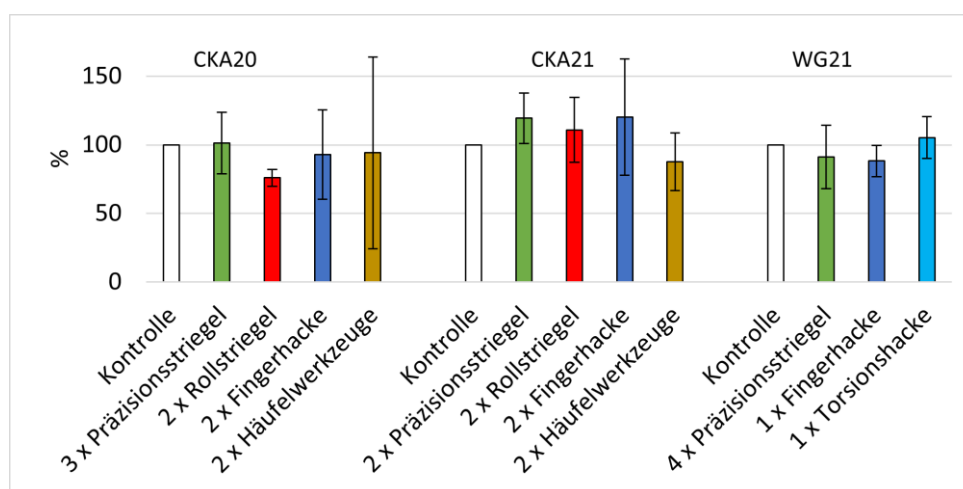


Abbildung 35: Einfluss verschiedener Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung in der Reihe auf den Relativertrag (Trockenmasse, ganzes Kraut) des ersten Schnitts von gepflanzter Melisse im Vergleich zur manuellen Unkrautregulierung (Kontrolle = 100 %) in drei Versuchen (CKA20: Campus Klein-Altendorf 2020, CKA21: Campus Klein-Altendorf 2021, WG21: Campus Wiesengut 2021)

- Dies war vermutlich eine Folge des hohen Schädigungsgrades bei einem recht späten Einsatz nach der Pflanzung (BBCH 28). Im Gegenzug hatte ein früher Einsatz des Präzisionsstriegels in den anderen beiden Versuchen keinen Effekt auf den Ertrag. Ebenso wirkte sich nur ein später Einsatz des Rollstriegels im BBCH 36 negativ auf den Ertrag aus, wohingegen ein früher Einsatz zwei Wochen nach der Pflanzung keine Auswirkung hatte.
- Fingerhacke und Häufelwerkzeuge reduzierten in einem von drei Versuchen den Ertrag. Es handelte sich um einen frühen Geräteeinsatz 2 Wochen nach der Pflanzung (BBCH 22 - 24), bei dem kein schüttfähiger Boden nach starken Niederschlägen zur Verfügung stand. Die Torsionshacke hatte bei einem einmaligen Einsatz keine Auswirkung auf den Ertrag.

4.3.1.1 Präzisionsstriegel

Kennzahlen für die Einstellungen des Treffler-Präzisionsstriegels in gepflanzter Melisse

- Frühester Einsatzzeitpunkt: Kulturhöhe 6 cm
- Fahrgeschwindigkeit: 2 - 6 km/h (ssL) bzw. 3 - 10 km/h (Ut)
- Einstellung Federspannung: Skala 4 - 9
- Arbeitstiefe: 1 - 5 cm

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte des Präzisionsstriegels in gepflanzter Melisse				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Melisse
6 - 10 cm Pflanzhöhe, BBCH 16 - 30	Spanne	57 - 100	11 - 47	Pflanzen verschüttet, Kultur gekämmt, vereinzelt gelockert
	Median (Geräteinsätze) ³	83 (3)	11 (3)	
Ab ca. 10 cm Pflanzhöhe bis zum 1. Schnitt, ab ca. BBCH 24 - 30	Spanne	30 - 100	4 - 15	Pflanzen leicht verschüttet, einzelne Blätter ausgerissen, Stängel leicht verletzt
	Median (Geräteinsätze) ³	78 (6)	4 (6)	

¹) Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²) Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³) Anzahl der Geräteinsätze in Exaktversuchen

Erfahrungen aus den Versuchen

- Die gepflanzte Melisse erwies sich als robust, sobald diese ab ca. 2 Wochen nach der Pflanzung gut angewachsen war (BBCH 22 - 24). Ab ca. 10 cm Pflanzhöhe bis zum Bestandsschluss konnte der Präzisionsstriegel problemlos eingesetzt werden, zum Beispiel auch auf leicht verschlammtem Boden, wenn dieser oberflächlich abgetrocknet war (siehe **Abbildung 36**, Seite 48).

- Zu späteren Zeitpunkten nach Bestandsschluss schädigte der Präzisionsstriegel die Kultur durch das Verschütten der Blätter.
- Ab dem zweiten Standjahr war die Wirkung des Präzisionsstriegels eingeschränkt. Eine vollständige Unkrautbekämpfung an den höherstehenden Pflanzenhorsten war kaum möglich. In Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit und der Trägheit des Präzisionsstriegels wurden einige Bereiche in der Kulturreihe nicht bearbeitet, da die Zinken hinter einem Pflanzenhorst erst wieder in den Boden eingreifen müssen.



Abbildung 36: Einsatz des Präzisionsstriegels in gepflanzter Melisse vier Wochen nach der Pflanzung (Kulturhöhe = 17 cm; Foto: Charlotte Junker)

4.3.1.2 Rollstriegel

Kennzahlen für die Einstellungen des Einböck-Rollstriegels in gepflanzter Melisse

- Frühester Einsatzzeitpunkt: Kulturhöhe 6 - 8 cm
- Fahrgeschwindigkeit: 3 - 6 km/h (Ut)
- Einstellung Federspannung: Skala 3 - 4 (Ut)
- Arbeitstiefe: 4 - 6 cm

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte des Rollstriegels in gepflanzter Melisse				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Melisse
Ab 6 -15 cm Pflanzenhöhe	Spanne	25 - 99	1 - 11	Blätter durchstoßen, Kluten in die Reihe geworfen, Pflanzen verschüttet, Stängel abgerissen
	Median (Geräteeinsätze) ³	86 (4)	8 (4)	

¹) Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²) Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³) Anzahl der Geräteeinsätze in Exaktversuchen

Erfahrungen aus den Versuchen

- Bereits zwei Wochen nach der Pflanzung waren die Jungpflanzen ausreichend eingewurzelt (BBCH 22 - 24), sodass der Rollstriegel eingesetzt werden konnte.
- Die Melisse reagierte zu späteren Zeitpunkten (80 - 100 Tage nach der Pflanzung) kurz vor der Ernte negativ auf Verschüttung.

4.3.1.3 Fingerhacke

Kennzahlen für die Einstellungen der K.U.L.T.-Fingerhacke in gepflanzter Melisse

- Frühester Einsatzzeitpunkt: Kulturhöhe 7 cm
- Fahrgeschwindigkeit: 3 - 5 km/h
- Abstand Finger: -1 bis -3 (überlappend)
- Arbeitstiefe: 2 cm

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte der Fingerhacke in gepflanzter Melisse				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Melisse
5 - 10 cm Pflanzenhöhe, BBCH 16 - 30	Spanne	20 - 96	1 - 7	Pflanzen leicht verschüttet
	(Geräteinsätze) ³	(2)	(2)	
Ab ca. 10 cm Pflanzenhöhe bis zum 1. Schnitt, ab ca. BBCH 30	Spanne	79 - 97	1 - 6	Pflanzen leicht verschüttet, Staub auf der Kultur
	Median (Geräteinsätze) ³	87 (3)	3 (3)	

¹) Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²) Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³) Anzahl der Geräteinsätze in Exaktversuchen

Erfahrungen aus den Versuchen

- Der Einsatz der Fingerhacke ist problemlos möglich, sobald die Melisepflanzen gut eingewurzelt sind.
- Der erste Einsatz sollte langsam gefahren werden, um die Pflanzen nicht zu verschütten.
- Wichtig für den Wirkungsgrad der Fingerhacke ist die Bereitstellung bzw. Schaffung von schütffähigem Boden in der Pflanzreihe.

4.3.1.4 Häufelwerkzeuge

Kennzahlen für gute Einstellungen:

- Frühester Einsatzzeitpunkt: Kulturhöhe 7 cm
- Fahrgeschwindigkeit: 3 - 6 km/h (Ut)
- Arbeitstiefe: 3 - 5 cm

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte der Häufelwerkzeuge in gepflanzter Melisse				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Melisse
Ab 7 - 13 cm Pflanzenhöhe, BBCH 22 - 33	Spanne	75 - 100	8 - 82	Verschüttung
	Median (Geräteeinsätze) ³	100 (4)	25 (4)	

¹) Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²) Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³) Anzahl der Geräteeinsätze in Exaktversuchen

Erfahrungen aus den Versuchen

- Die Melissejungpflanzen können ab dem Einwurzeln und einer Kulturhöhe von 7 cm leichte Verschüttungen gut vertragen.
- Als Herbstmaßnahme wurde durch den Einsatz von Häufelblechen die Kultur zu stark verschüttet. Zu diesem Zeitpunkt erwiesen sich Flachhäufler als geeignet. Durch die niedrigere Höhe konnten diese auch unterhalb der horizontal wachsenden Kulturpflanze arbeiten, arbeiteten zudem flacher über dem Boden und häufelten weniger.
- Bei geringen Reihenabständen steht gerade im mehrjährigen Bestand nicht ausreichend schütffähiger Boden für das Häufeln zur Verfügung. Hier sind Reihenabstände > 50 cm günstig.

4.3.1.5 Torsionshacke

Die Torsionshacke (Hersteller: K.U.L.T.) wurde in einem Versuch am Standort Wiesengut bei einer Kulturhöhe von 21 cm (BBCH 24 - 26) eingesetzt. Der Wirkungsgrad betrug 72 %. Damit die Torsionshacke in der Reihe arbeitete, wurde eine Überlappung von -10 cm gewählt. Visuell wurde direkt nach dem Maschineneinsatz keine Schädigung festgestellt und der Einsatz hatte keinen Einfluss auf den Ertrag.

Je stärker die Zinken überlappten und je geringer die Fahrgeschwindigkeit, desto tiefer und besser arbeiteten diese in der Reihe.



Abbildung 37: Zitronenmelisse kurz vor der Ernte (Foto: Heidi Heuberger)

4.3.2 Gesäte Melisse

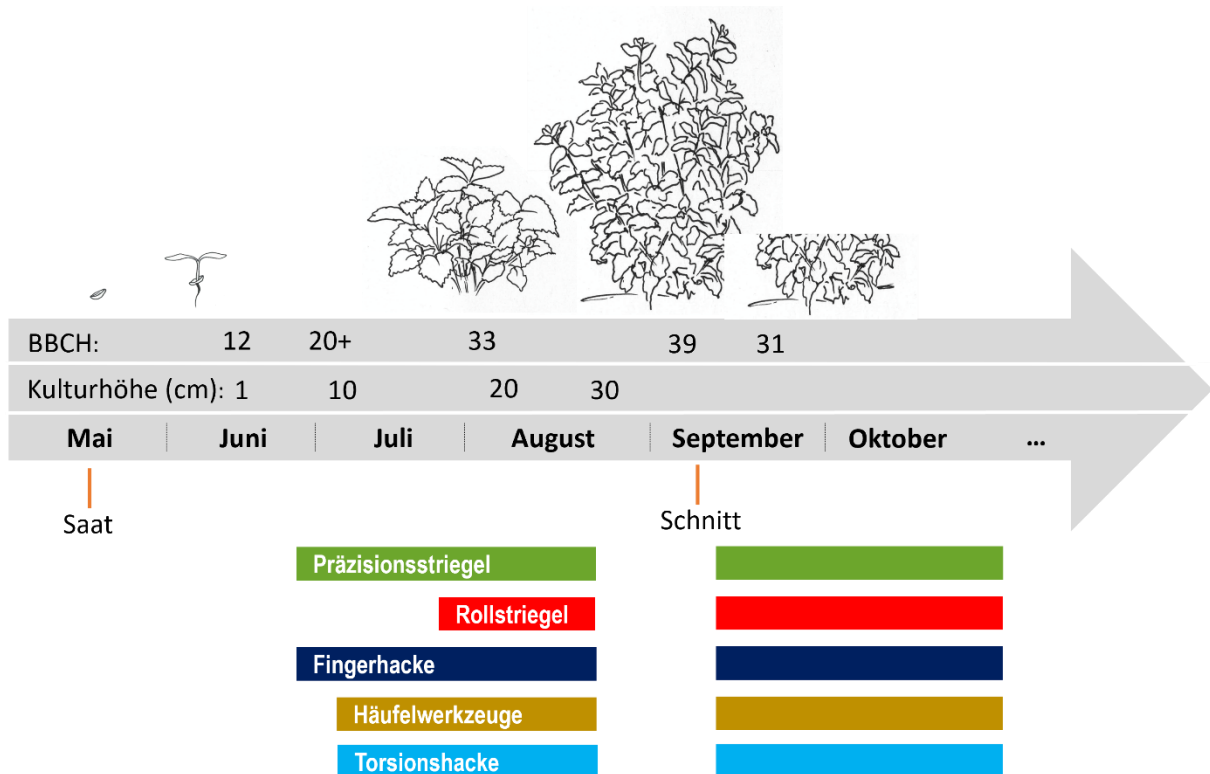


Abbildung 38: Mögliche Einsatzzeiträume verschiedener Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung in der Reihe in gesäter Melisse basierend auf den Optimech-Versuchen.

Wie wirkte sich die mechanische Unkrautregulierung auf den Ertrag aus?

- Erfasst wurden vor allem die Effekte der Geräte auf den 1. Schnitt der Melisse. Die Phase der Bestandsetablierung ist von Bedeutung für die Unkrautregulierungsstrategie bei Melisse. In der gesäten Melisse wurden alle 5 Geräte in mindestens einem Versuch eingesetzt und hatten, sofern die erste Maßnahme ab einer Kulturhöhe von 8 cm (BBCH 24) erfolgte, in der Regel keinen Effekt auf den Ertrag des ersten Schnitts (siehe **Abbildung 39**, Seite 52).
- Am Campus Klein-Altendorf erfolgte der erste Einsatz des Präzisionsstriegels bereits im Stadium der ersten Laubblätter (BBCH 12), wodurch die Saatreihe teils massiv verschüttet wurde. Der Rollstriegel wurde erst 4 Wochen später in der 8 cm hohen Melisse (BBCH 20 - 28) eingesetzt. Der drei- bzw. zweimalige Einsatz der beiden Striegel führte am Campus Klein-Altendorf zu einem geringeren Krautertrag im Vergleich zur Kontrolle. Dagegen wirkte sich der Präzisionsstriegel am Wiesengut nicht auf den Ertrag aus. Die Häufelwerkzeuge wurden im BBCH 22 - 30 zweimal angehäufelt und dabei sehr ungleichmäßig von 5 bis zu 80 % verschüttet. Dies führte zu einer sehr großen Variabilität des Krautertrags. Die Fingerhacke, die ab BBCH 24 - 27 zum Einsatz kam, und die Torsionshacke (bei BBCH 24) blieben ohne Wirkung auf den Krautertrag.

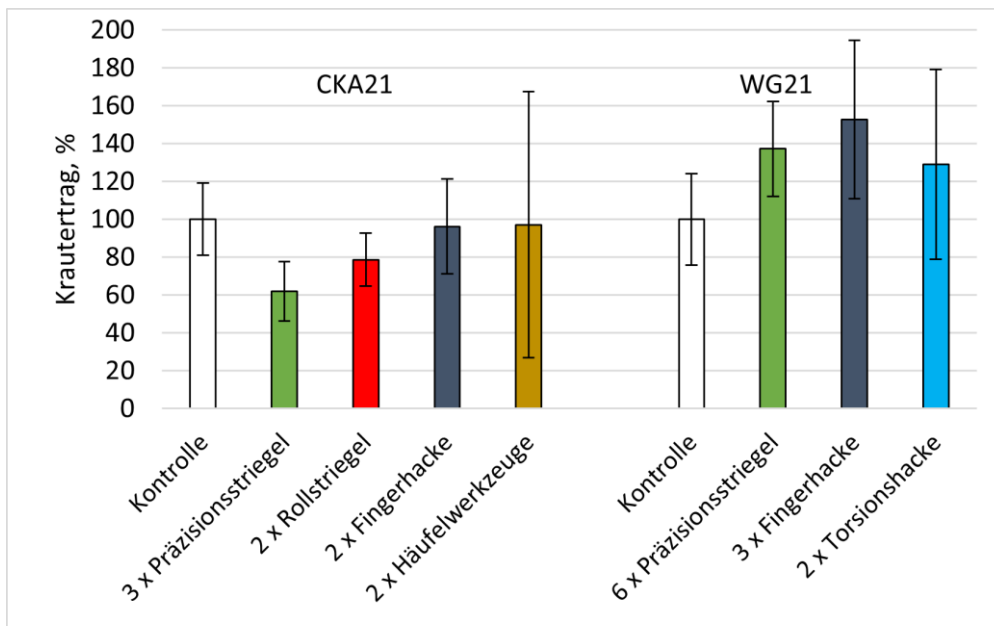


Abbildung 39: Einfluss verschiedener Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung in der Reihe auf den Relativertrag (Trockenmasse, ganzes Kraut) des ersten Schnitts von gesäter Melisse im Vergleich zur manuellen Unkrautregulierung (Kontrolle = 100 %) in zwei Versuchen (CKA21: Campus Klein-Altendorf 2021, WG21: Campus Wiesengut 2021)

4.3.2.1 Präzisionsstriegel

Kennzahlen für die Einstellungen des Treffler-Präzisionsstriegels bei gesäter Melisse

- Frühester Einsatzzeitpunkt: Kulturhöhe 6 cm
- Fahrgeschwindigkeit: 2 - 7 km/h
- Einstellung Federspannung: Skala 2 - 9
- Arbeitstiefe: 1 - 4 cm

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte des Präzisionsstriegels in gesäter Melisse				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Melisse
Ab ca. 6 - 10 cm Pflanzenhöhe	Spanne	66 - 100	0 - 36	Pflanzen verschüttet, vereinzelt gelockert
	Median (Geräteinsätze) ³	83 (2)	28 (3)	
Ab ca. 10 cm Pflanzenhöhe bis zum 1. Schnitt	Spanne	14 - 81	0 - 4	Pflanzen leicht verschüttet, einzelne Blätter ausgerissen
	Median (Geräteinsätze) ³	78 (4)	1 (5)	

¹) Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²) Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³) Anzahl der Geräteinsätze in Exaktversuchen



Abbildung 40: Gesäte Melisse nach einem sehr frühen Einsatz des Präzisionsstriegels am Standort Wiesengut (Kulturhöhe = 2 cm; Foto: Charlotte Junker)

Erfahrungen aus den Versuchen

- Frühester Einsatz: Die gesäte Melisse wuchs nur langsam. Am Standort Campus Wiesengut wirkte der Präzisionsstriegel bei einer Kulturhöhe von etwa 2 cm (BBCH 12) zu stark verschüttend (siehe **Abbildung 40**). Am Campus Klein-Altendorf wurde im selben Kulturstadium die teils starke Verschüttung zwar als vertretbar gewertet, führte jedoch zu starkem Ertragsverlust. Gerade im frühen Stadium der gesäten Melisse ist auf besonders günstige Bodenbedingungen zum Striegeln zu achten. Ab einer Kulturhöhe von ca. 6 cm bewirkte die Schädigung durch Verschüttung keine relevante Ertragsminderung mehr.
- Der Präzisionsstriegel war bis kurz vor Bestandsschluss (Kulturhöhe = 30 cm) regelmäßig einsetzbar und erzielte ohne Kulturschädigung hohe Wirkungsgrade (81 %) bei einem Unkrautdruck von 64 Unkräutern/m² in der Reihe.

4.3.2.2 Rollstriegel

Am Standort Campus Klein-Altendorf wurde der Rollstriegel schon früh bei einer Kulturhöhe von 8 cm eingesetzt. Das Striegeln in diesem frühen Stadium führte zu einer Verringerung des Krautertrags im ersten Schnitt verglichen mit der Kontrolle. Leichte bis mäßig starke Verschüttungen bei anhaltender Trockenheit und hohen Temperaturen dürften hier ertragsmindernd gewirkt haben.

Am Campus Wiesengut war ein so früher Einsatz bei einer Kulturhöhe von 9 cm nicht möglich, da der Rollstriegel die Kultur durch das Abreißen von Blättern und Stängeln zu stark schädigte. Hier konnte der Rollstriegel jedoch kurz vor Reihenschluss (Kulturhöhe = 26 cm) eingesetzt werden und entfernte z. T. noch große Unkräuter in der Reihe.

4.3.2.3 Fingerhacke

Kennzahlen für die Einstellungen der K.U.L.T.-Fingerhacke bei gesäter Melisse

- Frühester Einsatzzeitpunkt: Kulturhöhe 8 cm
- Fahrgeschwindigkeit: 3 - 5 km/h
- Abstand zwischen den Fingern: 0 bis -4 (überlappend)
- Härtegrad der Finger: gelb
- Arbeitstiefe: bis 4 cm

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte der Fingerhacke in gesäter Melisse				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Melisse
Ab ca. 8 - 10 cm Pflanzenhöhe	Spanne	23 - 52	4 - 9	Pflanzen verschüttet, vereinzelt gelockert
	Median (Geräteinsätze) ³	37 (2)	6 (2)	
Ab ca. 10 cm Pflanzenhöhe bis zum 1. Schnitt	Spanne	22 - 98	0 - 6	Pflanzen leicht verschüttet, einzelne Blätter ausgerissen
	Median (Geräteinsätze) ³	56 (2)	1 (3)	

¹⁾ Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²⁾ Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³⁾ Anzahl der Geräteinsätze in Exaktversuchen



Abbildung 41: Einsatz der Fingerhacke am Standort Wiesengut ca. 5 Wochen nach der Aussaat von Melisse (Kulturhöhe: 9 cm; Foto: Charlotte Junker).

Erfahrungen aus den Versuchen

- Die Fingerhacke erwies sich für Unkrautregulierungsmaßnahmen vor dem ersten Schnitt als geeignet. Die früheste Maßnahme war bei einer Kulturhöhe von 8 cm (BBCH 24) möglich (siehe **Abbildung 41**, Seite 54). In früheren Entwicklungsstadien führte die Erdbewegung zum Verschütten der Kulturpflanzen oder zu unzureichender Wirkung in der Reihe. Eine Kombination mit Hohlschutzscheiben (ca. 6 cm Abstand in der Reihe) könnte den Verschüttungseffekt bei frühen Maßnahmen vermeiden.

4.3.2.4 Häufelwerkzeuge

Am Standort Campus Klein-Altendorf wurden Flachhäufelschare ab einem Kulturhöhenstadium von 10 cm eingesetzt. Der Grad der Verschüttung lag bei 44 %. Beim folgenden Einsatz, zu dem die Melisse eine Höhe von 12 cm erreicht hatte, wurde ein 9 cm hoher Damm geformt und die Schädigung lag bei 16 %. Der Einsatz der Häufelwerkzeuge bewirkte eine extreme Schwankungsbreite des Ertrags (siehe **Abbildung 39**, Seite 52).

4.3.2.5 Torsionshacke

Ein früher Einsatz der K.U.L.T.-Torsionshacke bei einer Kulturhöhe von 3 cm war am Standort Campus Klein-Altendorf nicht erfolgreich, da die Kulturpflanze zu stark verschüttet und entwurzelt wurde. Auch zu einem späteren Zeitpunkt (Kulturhöhe: 9 cm) wurde der Einsatz abgebrochen.

Am Standort Wiesengut konnte die Torsionshacke ab einer Kulturhöhe von 10 cm erfolgreich eingesetzt werden und arbeitete kulturschonend (Schädigung: 0 %). Es konnten Wirkungsgrade bis zu 93 % bei 58 Unkräutern/m² in der Reihe erzielt werden. Die Torsionshacke hatte keinen Effekt auf den Ertrag im Vergleich zur Kontrolle.

4.4 Pfefferminze



Abbildung 42: Pfefferminze am Standort Baumannshof (Foto: Andrea Baron)

Pflanzkultur mit flächiger Ausbreitung

Die Pfefferminze (*Mentha x piperita*) ist eine mehrjährige Pflanze aus der Familie der Lippenblütler. Sie bildet direkt unter der Erdoberfläche lange Ausläufer (Stolonen). Als Langtagpflanze findet in der Vegetationszeit oberirdisches Wachstum statt, im Kurztag (Oktober bis April) entwickeln sich vorwiegend Ausläufer.

Die Anbauverfahren von Pfefferminze variieren stark. Ausschlaggebend ist dabei das betriebspezifische Konzept zur Unkrautregulierung. Die Bestandsetablierung erfolgt entweder über die Pflanzung von bewurzelten Kopfstecklingen ab Juni oder durch Stolonen im Herbst oder zeitigen Frühjahr. Die Stolonen werden aus einer bestehenden Kultur oder aus einem einjährigen Bestand aus Kopfstecklingen gerodet und auf die neue Fläche umgelegt. Bei der Stolonenanlage kann zur mechanischen Unkrautregulierung im ersten Winter lediglich ein leichtes Anhäufeln mit späterem Abstriegeln erfolgen; ein Eingreifen in den Boden würde zum Rausziehen der Stolonen führen.

Bei den Kopfstecklingen können je nach Anwurzelungserfolg etwa nach 2 Wochen die ersten Striegel- oder Hackmaßnahmen erfolgen. Wichtig für eine vollständige Bearbeitung der Fläche ist ein ebenes Pflanzbeet. Hinterlässt die Pflanzmaschine ein starkes Profil, sollte nach der Pflanzung in Abhängigkeit von Bodenfeuchte, Bodenart und Jungpflanzenentwicklung angewalzt werden. Dabei steht die Wiederherstellung eines ebenen Pflanzbeetes im Fokus. Das Verdichten der Bodenoberfläche sowie das Beschädigen der Kulturpflanzen sollten vermieden werden. Besonders bei

Auf einen Blick: Pfefferminze	
Familie	Lippenblütler
Saattermin	Ab Mitte September
Pflanzdichte	8 - 10 Pflanzen/m ²
Abstand in der Reihe	25 - 30 cm
Reihenabstand	40 - 75 cm
Besonderheiten	Flächige Ausbreitung

zu hoher Bodenfeuchte und hohem Lehmanteil im Bodengefüge besteht die Gefahr einer Bodenverdichtung.

Der Reihenabstand muss im Pfefferminzanbau an die geplanten Unkrautregulierungsmaßnahmen angepasst werden. Möglich sind Reihenabstände von 40 cm bis hin zu 80 cm. Weitere Abstände ermöglichen ein intensives Arbeiten zwischen den Reihen. Zudem kann der Boden dort zum Anhäufeln in der Reihe genutzt werden.

Praxisüblich ist sowohl der flächige Anbau, bei dem die Pfefferminze die gesamte Beetfläche einnimmt, als auch das Zurückdrängen der Ausläufer in die Reihe. Das kontinuierliche Anhäufeln der Pflanzen zur Unkrautregulierung kann auch zum Dammanbau der Kultur führen. Für die mechanischen Maßnahmen sollte immer genügend schüttfähiger Boden zwischen den Reihen vorhanden sein.

Typisch für die Pfefferminze ist die starke Horstbildung. In den Pflanzenhorsten können sich aussamende Unkräuter etablieren – besonders nach dem Schnitt, wenn der Bestand offen ist. Außerdem sorgen die oberflächennahen, dichten Ausläufer für einen festen, wenig schüttfähigen Boden, der damit wenig Angriffsfläche für mechanische Geräte bietet. Nach Bestandschluss können mechanische Maßnahmen zur Verunreinigung des Ernteguts führen.

Ein günstiger Zeitpunkt zur mechanischen Unkrautregulierung ist im Pfefferminzanbau nach jedem Ernteschnitt. Durch intensives Striegeln können dann restliche Triebe und Blätter entfernt und der Boden aufgearbeitet werden. Dies macht den Boden wieder schüttfähig und hackfähig. Ein leichtes Ausreißen der Rhizome muss dabei allerdings in Kauf genommen werden. Manche Betriebe nutzen die Phase nach dem Schnitt auch zum Anhäufeln und Abstriegeln. Das heißt, nach dem Schnitt wird angehäufelt und kurz vor dem Austrieb (ca. 1 Woche später) wird die Erde wieder abgestriegelt. Oder die Kultur wird mit einer Fräse oder mit schneidenden Werkzeugen zurück in die Reihe gedrängt. Nicht selten wird die mechanische Unkrautregulierung auch mit der Einarbeitung von Dünger kombiniert.

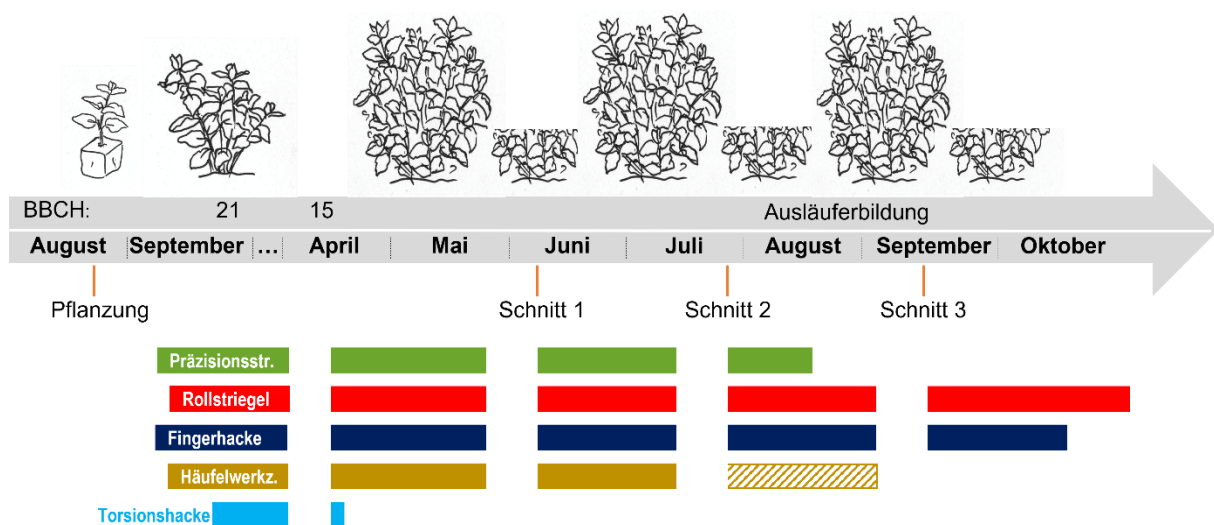


Abbildung 43: Mögliche Einsatzzeiträume verschiedener Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung in der Pfefferminz-Kultur basierend auf den Optimech-Versuchen

Große Bedeutung hat im Pfefferminzanbau die Unkrautregulierung im Winter. Die Pflanzen gehen Mitte Dezember in die Vegetationsruhe (BBCH 9) und ziehen weitgehend ein. Bei schüttfähigem Boden und befahrbarer Fläche können die Pflanzreihen dann intensiv mit der Fingerhacke (oder auch Stahlfingerhacke) bearbeitet und/oder komplett zugehäufelt werden. Das Abdecken des ganzen Bestandes mit lichtundurchlässigem Material wie z. B. Bändchengewebe während der Vegetationsruhe der Kulturpflanzen bewirkt das Abtöten der Unkräuter durch Lichtausschluss.

Die beschriebenen Unkrautregulierungsmaßnahmen in der Pfefferminze können problemlos auf die Apfelmintze übertragen werden, da die beiden Arten eine vergleichbare Vitalität besitzen. Bei den oft schwächer wüchsigen Aromaminzen muss die Bearbeitungsintensität angepasst werden.

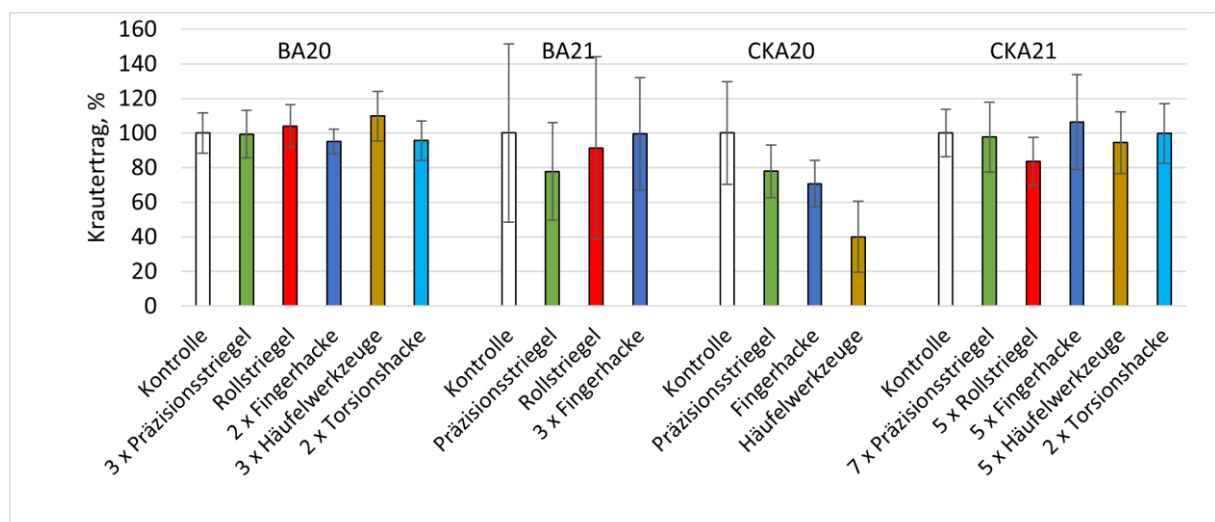


Abbildung 44: Einfluss verschiedener Geräte zur mechanischen Unkrautregulierung in der Reihe auf den Relativertrag (Trockenmasse, ganzes Kraut) des ersten Schnitts von Pfefferminze aus im Vorjahr gepflanzten Stecklingen (Standjahr 2) im Vergleich zur manuellen Unkrautregulierung (Kontrolle = 100 %) in vier Versuchen (BA20: Baumannshof 2020, BA21: Baumannshof 2021, CKA20: Campus-Klein-Altendorf 2020, CKA21: Campus-Klein-Altendorf 2021).

Wie wirkte sich die mechanische Unkrautregulierung auf den Ertrag aus?

- In allen vier Versuchen erfolgte die erste Ernte des Krauts Mitte Juni im Jahr nach der Pflanzung der Stecklinge. In drei der vier Versuche führten die teils mehrfach durchgeführten Gerätemaßnahmen in der Regel zu keiner Verringerung des Krautertrags beim ersten Ernteschnitt (siehe **Abbildung 44**). Lediglich der fünfmalige Einsatz des Rollstriegels führte bei der Ernte am Campus Klein-Altendorf 2021 zu einem tendenziell geringeren Ertrag.
- Beim Rollstriegel wurden größere Arbeitstiefen in Kauf genommen, um eine flächendeckende Bodenbearbeitung zu gewährleisten. Dabei führte der intensivere Geräteeinsatz zu hohen Pflanzenverlusten, auch in etablierten Beständen. Die Krauterträge am Baumannshof 2021 waren großen Schwankungen unterworfen. Dennoch wirkte hier der einmalige Einsatz des Präzisionsstriegels tendenziell ertragsmindernd im Vergleich zur handgejäteten Kontrolle.

- Am Campus Klein-Altendorf kam es bei der Ernte 2020 zu deutlich ertragsmindernden Effekten durch den Präzisionsstriegel, die Fingerhacke und ganz besonders durch die Häufelwerkzeuge. Eine mögliche Ursache für diese Ertragsminderungen könnten die extrem trockenen und heißen Witterungsbedingungen gewesen sein. Zudem führte die späte Pflanzung der Stecklinge Mitte Oktober des Vorjahres zu eher schwach entwickelten Beständen, die auf ein stark bedeckendes Anhäufeln mit Vitalitäts- und Ertragsverlusten reagierten. Bei der Unkrautregulierung mit Häufelwerkzeugen wurde aufgrund des Versuchsansatzes wiederkehrend Erdmaterial ohne nachfolgenden Striegeleinsatz aufgeschüttet. Die Pfefferminze konnte die Verschüttung zwar tendenziell gut kompensieren, ein abwechselndes Anhäufeln und Abstriegeln ist jedoch sinnvoll.

4.4.1 Präzisionsstriegel

Kennzahlen für die Einstellungen des Treffler-Präzisionsstriegels in Pfefferminze (gepflanzte Stecklinge)

- Frühester Einsatzzeitpunkt: 2 Wochen nach Pflanzung
- Fahrgeschwindigkeit: 5 - 9 km/h
- Einstellung Federspannung: Skalenwert 4 - 9
- Rahmenhöhe, lichte Höhe: 43 - 58 cm

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte des Präzisionsstriegels in Pfefferminze				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Pfefferminze
Ab gutem Einwurzeln ca. 2 Wochen nach Pflanzung, bei ca. 10 cm Pflanzhöhe	Spanne	98 - 100	2 - 47	Pflanzen leicht verschüttet; vereinzelt gelockert
	Median (Geräteeinsätze) ³	100 (3)	7 (3)	
Im weiteren Vegetationsverlauf bis zur Vegetationsruhe	Spanne	84 - 100	0 - 35	Pflanzen leicht verschüttet; einzelne Triebe abgeknickt
	Median (Geräteeinsätze) ³	93 (5)	8 (5)	
Nach dem Wiederaustrieb (Ende März/Anfang April)	Spanne	37 - 85	7 - 19	Pflanzen leicht verschüttet; vereinzelt Triebe entfernt
	Median (Geräteeinsätze) ³	61 (2)	13 (2)	
Im weiteren Vegetationsverlauf	Spanne	75 - 100	0	
	Median (Geräteeinsätze) ³	84 (4)	0 (5)	

¹) Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²) Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³) Anzahl der Geräteeinsätze in Exaktversuchen

Erfahrungen aus den Versuchen

- Der Präzisionsstriegel konnte ab der festen Einwurzelung der Kulturpflanzen, d. h. ca. 2 Wochen nach Pflanzung der Stecklinge, durchgehend in der Kultur eingesetzt werden. Sobald die Reihen dichter wurden, konnten die Zinken jedoch nur noch stellenweise in den Boden eingreifen – entweder, weil die Zinken über die Pflanzenhorste sprangen oder weil der Boden zu stark verfestigt war.
- Die Ausläufer der Pflanzen wurden in keiner Phase des Striegeleinsatzes geschädigt. Auch im flächendeckenden Bestand war ein Einsatz noch möglich, vorausgesetzt die Bodenverhältnisse ließen dies zu.
- Der Wirkungsgrad des Striegeleinsatzes war vor allem vom Entwicklungsstadium der Unkräuter und den Bodenbeschaffenheiten abhängig. Besonders gute Erfolge konnten bei leicht feuchtem, klutenarmem Boden erzielt werden.
- Bei verkrusteten Bodenoberflächen konnten die Zinken häufig nicht gleichmäßig in den Boden eingreifen. Bis zur flächigen Ausbreitung des Bestands könnten regelmäßige Überfahrten dies vermeiden und die Striegelfähigkeit des Bodens aufrechterhalten. Der Einsatz eines Zinkenstriegels nach oder in Kombination mit einer Hackmaßnahme zerkleinert die Bodenkümmel noch stärker, legt die Unkrautwurzeln besser frei und kann so den Wirkungsgrad erhöhen. Später müssen andere Maßnahmen (z. B. das Anhäufeln) erfolgen, um den Boden wieder schütt- und striegelfähig zu machen.

4.4.2 Rollstriegel

Kennzahlen für die Einstellungen des Einböck-Rollstriegels in Pfefferminze (gepflanzte Stecklinge):

- Frühester Einsatzzeitpunkt: 3 Wochen nach Pflanzung
- Fahrgeschwindigkeit: 3 - 5 km/h
- Einstellung Federspannung: Skalenwert 3 - 4
- Rahmenhöhe, lichte Höhe: 58 - 61 cm

Erfahrungen aus den Versuchen

- Der erste Einsatz des Rollstriegels war ca. 3 Wochen nach der Pflanzung möglich, sofern die Ballen bei der Pflanzung gut angedrückt und die Pflanzen gut eingewurzelt waren. Bei schwach verwurzelten Kulturpflanzen bestand die Gefahr, dass der Striegelzinken die Erdpresstöpfe samt Kulturpflanzen aus dem Boden riss.
- Für eine rasche Jugendentwicklung und frühe Striegelmaßnahmen sind vitale Jungpflanzen und triebkräftige Sorten von Vorteil.

- Aufgrund des breiten Strichabstandes der Rollelemente wurden größere Arbeitstiefen in Kauf genommen, um eine flächendeckende Bearbeitung zu gewährleisten. Dabei konnten jedoch Schäden an den Kulturpflanzen wie Triebverluste oder das Anlockern/Entwurzeln von Pflanzen beobachtet werden.
- Die Kulturverträglichkeit und Wirksamkeit war, anders als beim Präzisionsstriegel, abhängig vom Relief des Pflanzbeetes. Eine höherliegende Pflanzenreihe bot eine größere Angriffsfläche der Rollelemente und führte insbesondere bei frühen Einsätzen zum Entwurzeln der Kulturpflanzen.
- Höhere Fahrgeschwindigkeiten führten aufgrund der höheren Rotationsgeschwindigkeiten der Rollelemente zu höheren Blatt- und Triebverlusten an den Kulturpflanzen.
- Stark verunkrautete Bestände konnten durch aggressiven Rollstriegeleinsatz wieder bearbeitungsfähig gemacht werden.
- Der Einsatz des Rollstriegels direkt nach der Ernte kann empfohlen werden, um restliches Pflanzenmaterial zu entfernen und die Feldhygiene herzustellen. Eine gleichzeitige Bodenbearbeitung zur Unkrautregulierung ist jedoch von der Bodenbeschaffenheit abhängig. Eine stark verkrustete und trockene Bodenoberfläche machte ein Eindringen der Striegelelemente vor allem im etablierten Bestand nahezu unmöglich. Hier müssen andere Maßnahmen wie das Anhäufeln erfolgen, um den Boden wieder schütt- und striegelfähig zu machen.

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte des Rollstriegels in Pfefferminze				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Pfefferminze
Ab gutem Einwurzeln ca. 3 Wochen nach Pflanzung, bei ca. 10 cm Pflanzhöhe	Spanne	50 - 100	5 - 13	Pflanzen leicht verschüttet; vereinzelt gelockert; vereinzelt entwurzeln möglich
	Median (Geräteinsätze) ³	91 (3)	9 (3)	
Im weiteren Vegetationsverlauf bis zur Vegetationsruhe	Spanne	76 - 81	20 - 33	Pflanzen leicht verschüttet; vereinzelt Triebe entfernt
	Median (Geräteinsätze) ³	79 (2)	27 (2)	
Nach dem Wiederaustrieb (Ende März/Anfang April)	Spanne	54 - 98	10 - 22	Pflanzen leicht verschüttet; vereinzelt Triebe entfernt
	Median (Geräteinsätze) ³	76 (2)	16 (2)	
Im weiteren Vegetationsverlauf	Spanne	86 - 100	10 - 15	Pflanzen leicht verschüttet; vereinzelt Triebe entfernt
	Median (Geräteinsätze) ³	92 (3)	10 (3)	

¹) Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²) Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³) Anzahl der Geräteinsätze in Exaktversuchen

4.4.3 Fingerhacke

Kennzahlen für die Einstellungen der K.U.L.T.-Fingerhacke in Pfefferminze (gepflanzte Stecklinge):

- Frühester Einsatzzeitpunkt: 2 Wochen nach Pflanzung
- Fahrgeschwindigkeit: 2 - 5 km/h
- Arbeitstiefe: 2 - 5 cm
- Abstand Fingerspitzen: von 0 bis -5 cm (ineinandergreifend)
- Art der Fingerelemente:
 - großes Fingerelement (Ø 37 cm), mit mittlerem Härtegrad (gelb)
 - mittelgroßes Fingerelement (Ø 29 cm), mit hohem Härtegrad (rot)

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte der Fingerhacke in Pfefferminze				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Pfefferminze
Ab gutem Einwurzeln ca. 2 Wochen nach Pflanzung, bei ca. 10 cm Pflanzhöhe	Spanne	80 - 100	0 - 38	Pflanzen leicht verschüttet; vereinzelt gelockert
	Median (Geräteinsätze) ³	96 (4)	2 (4)	
Im weiteren Vegetationsverlauf bis zur Vegetationsruhe	Spanne	82 - 98	0 - 6	Pflanzen leicht verschüttet, einzelne Triebe abgeknickt
	Median (Geräteinsätze) ³	91 (3)	2 (3)	
Nach dem Wiederaustrieb (Ende März/Anfang April); bei unter 10 cm Pflanzhöhe	Spanne	52 - 76	8 - 33	Pflanzen leicht verschüttet; vereinzelt Triebe entfernt
	Median (Geräteinsätze) ³	73 (3)	25 (3)	
Im weiteren Vegetationsverlauf	Spanne	76 - 83	0 - 15	Pflanzen leicht verschüttet, einzelne Triebe abgeknickt, einzelne Ausläufer ausgerissen
	Median (Geräteinsätze) ³	79 (3)	1 (4)	

¹) Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²) Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³) Anzahl der Geräteinsätze in Exaktversuchen

Erfahrungen aus den Versuchen

- Der früheste Einsatz der Fingerhacke war ca. 2 Wochen nach der Pflanzung möglich, sofern die Ballen bei der Pflanzung gut angedrückt und die Pflanzen gut eingewurzelt waren.

- Bei beginnender Ausläuferbildung wurden diese im sandigen Boden (IS) durch die Fingerhacke teilweise freigelegt. Die raschwachsende Sorte hat dies gut vertragen. Eine Gerätekombination mit anschließendem Häufeln könnte ebenfalls kompensieren.
- Ab dem zweiten Standjahr, sobald die Kulturreihe flächig bedeckt und der Boden abgesetzt war, konnten die Finger – auch die härteren roten Finger – die Bodenoberfläche immer weniger gut bearbeiten. Auf sandigem Boden wurden auch in diesem Stadium noch vereinzelt Ausläufer ausgerissen.
- Die Kombination mit Gänsefußscharen im Zwischenreihenbereich nach der Ausläuferbildung hat ein Entwurzeln und Ausreißen von Stolonen und Pflanzen zur Folge. Ein vorheriger Einsatz einer Bodenfräse mit regelmäßigen Durchfahrten einer Gänsefußhacke im Nachgang könnte dem entgegenwirken.



Abbildung 45: Einsatz der Fingerhacke mit mittelgroßen, harten Fingerelementen in Pfefferminze am Campus Klein-Altendorf 2020, 57 Tage nach Pflanzung (Foto: Matthias Bernschein)

4.4.4 Häufelwerkzeuge

Kennzahlen für Einstellungen der K.U.L.T.-Häufelwerkzeuge in Pfefferminze (gepflanzte Stecklinge):

- Frühester Einsatzzeitpunkt: Kulturhöhe 10 cm
- Fahrgeschwindigkeit: 2 - 6 km/h
- Abstand Häufelwerkzeuge: von 7 cm (Häufelbleche) bis 12 cm (Flachhäufler)
- Arbeitstiefe: 2 - 5 cm

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte der Häufelwerkzeuge in Pfefferminze				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Pfefferminze
Ab gutem Einwurzeln ca. 2 Wochen nach Pflanzung, bei ca. 10 cm Pflanzhöhe	Spanne	70 - 100	2 - 87	Pflanzen stark verschüttet
	Median (Geräteinsätze) ³	94 (4)	36 (4)	
Im weiteren Vegetationsverlauf ab ca. 8 Wochen nach der Pflanzung bis zur Vegetationsruhe	Spanne	37 - 90	3 - 53	Pflanzen leicht verschüttet
	Median (Geräteinsätze) ³	90 (3)	28 (3)	
Nach dem Wiederaustrieb (Ende März/Anfang April) bei unter 10 cm Pflanzhöhe	Spanne	88 - 97	29 - 92	Pflanzen stark verschüttet, Kulturpflanze hat jedoch starke Durchwuchsfähigkeit
	Median (Geräteinsätze) ³	93 (2)	61 (2)	
Im weiteren Vegetationsverlauf	Spanne	69 - 100	6 - 37	Pflanzen leicht verschüttet, Ausläufer freigelegt, Pflanzen leicht gelockert (s. Erfahrungen aus den Versuchen)
	Median (Geräteinsätze) ³	81 (4)	27 (4)	

¹) Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²) Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³) Anzahl der Geräteinsätze in Exaktversuchen

Erfahrungen aus den Versuchen

- Der erste Einsatz der Häufelwerkzeuge war ab einer Pflanzhöhe von 10 cm möglich, sofern der Boden schüttfähig war. Je nach Wüchsigkeit der Pflanzen und Bodenbedingungen war dies bereits 2 Wochen oder erst ca. 8 Wochen nach Pflanzung der Fall. Zu früh durchgeführte Maßnahmen führten zu starker Schädigung durch Verschütten und zur Ertragsminderung, auch über den ersten Schnitt hinaus.
- Für den ersten und auch spätere Einsätze im ersten Standjahr auf lockerem Boden eigneten sich besonders die Flachhäufel (siehe **Abbildung 46**, Seite 65). Aufgrund der Konstruktion der Häufelkörper wurde die Erde seitlich an die Kulturpflanze abgelegt. Die Häufelbleche waren hingegen so geformt, dass Erde auf die Kulturpflanzen geworfen wurde. Bei abgesetzten, festen Bodenverhältnissen konnten Häufelbleche eingesetzt werden.
- Der Einsatz der Häufelwerkzeuge ab ca. der Mitte des 2. Standjahres kann ein Freilegen der Ausläufer verursachen (siehe **Abbildung 47**, Seite 65). Der Durchlass der Häufelbleche ist bei einem Reihenabstand von 45 cm auf max. 7 cm begrenzt. Dies führte bei breiten Kulturreihen bereits zu enormer Beanspruchung der Kulturpflanzen, da die breiten Pflanzenhorste durch das „Nadelöhr“ der Häufelbleche gezwängt werden.
- Die Pfefferminze konnte tendenziell eine Verschüttung gut kompensieren. Zu beachten ist jedoch, dass der Eintrag von Kluten in die Reihe hinein dazu führt, dass die Schnitthöhe angepasst werden muss, um mögliche Verschmutzung des Erntegutes zu vermeiden. Dadurch ist eine Reduktion des Ertrages möglich.

- Dreijährige Bestände (Reihenabstand: 45 cm) konnten kaum ausreichend verschüttet werden, da die Menge des dafür notwendigen Erdmaterials begrenzt war.
- Die Kombination aus Anhäufeln und anschließendem Abhäufeln mit einem Präzisionsstriegel zum Einebnen der Dämme wurde in einem Testversuch als gut bewertet.
- Sofern genügend Erdmaterial vorhanden war (Reihenabstand > 50 cm), hat das vollständige Verschütten der Pfefferminzreihen vor dem Winter mit Dammformern das Unkraut gut unterdrückt. Allerdings wurde bei zu hoher und zu langer Aufschüttung auch der Wiederaustrieb der Pfefferminze unterbunden. Das Verfahren der Unkrautunterdrückung mittels Winterdämmen sollte noch weiterentwickelt werden.



Abbildung 46: Einsatz von Flachhäuflern in Pfefferminze im 2. Standjahr führt zu Triebverlusten im Zwischenreihenbereich. Bei ungünstigen Bodenverhältnissen werden Kluten in die Kulturreihe abgelegt (Foto: Matthias Bernschein).



Abbildung 47: Ausschnitt einer Pfefferminzreihe im frühen 2. Standjahr nach erfolgtem Häufelblech-Einsatz. Zu beobachten war das Freilegen der Ausläufer (Foto: Matthias Bernschein).

4.4.5 Torsionshacke

Kennzahlen für Einstellungen der K.U.L.T.-Torsionshacke in Pfefferminze (gepflanzte Stecklinge)

- Frühester Einsatzzeitpunkt: Kulturhöhe 10 - 15 cm
- Fahrgeschwindigkeit: 3 - 6 km/h
- Abstand Torsionszinkenspitzen: von -3 cm (überlappend) bis 6 cm
- Arbeitstiefe: 2 - 5 cm

Unkrautwirkungen und Kulturschädigungen in den Optimech-Versuchen

Effekte der Torsionshacke in Pfefferminze				
Kulturstadium		Wirkungsgrad ¹ (%)	Schädigungsgrad ² (%)	Art der Schädigung an Pfefferminze
Ab gutem Einwurzeln ca. 2 Wochen nach Pflanzung	Median (Geräteeinsätze) ³	95 (1)	0 (1)	
Im weiteren Vegetationsverlauf ab ca. 8 Wochen nach der Pflanzung bis zur Vegetationsruhe	Spanne	51 - 90	0 - 26	Pflanzen leicht verschüttet
	Median (Geräteeinsätze) ³	86 (3)	7 (3)	
Nach dem Wiederaustrieb (Ende März/Anfang April); bei einer Pflanzhöhe von weniger als 10 cm	Spanne	91 - 94	40 - 47	Pflanzen leicht verschüttet; teilweise Triebe abgeschnitten
	Median (Geräteeinsätze) ³	93 (2)	44 (2)	

¹) Wirkung direkt nach dem Einsatz; im Anschluss wurde die Restverunkrautung manuell entfernt [siehe [Kapitel 2](#)],

²) Schädigung direkt nach dem Einsatz, ³) Anzahl der Geräteeinsätze in Exaktversuchen

Erfahrungen aus den Versuchen

- Der erste Einsatz der Torsionszinken war nach gutem Einwurzeln ab einer Pflanzhöhe von ca. 10 bis 15 cm möglich. Je nach Wüchsigkeit der Pflanzen war dies 3 Wochen oder erst ca. 8 Wochen nach Pflanzung der Fall. Früher durchgeführte Maßnahmen führten zu starker Schädigung durch Verschütten und Entwurzeln der Erdpresstöpfe.
- Ein exaktes Einstellen der Torsionszinken stellte sich aufgrund der Konstruktion als schwierig heraus. Die Stellung der Torsionszinken variierte während des Geräteeinsatzes bei Druckausübung, z. B. in trockenem und abgesetztem Boden.
- Der Einsatz einer Torsionshacke setzt eine lockere, weiche Ackerkrume voraus. Nach Eintreten einer abgesetzten, festen bis hin zu einer verkrusteten Bodenoberfläche auf dem lehmhaltigen Lössboden am Campus Klein-Altendorf ab dem 2. Standjahr stellte sich der Einsatz einer Torsionshacke als ungeeignet heraus: Die Torsionszinken „kratzten“ auf der

Bodenoberfläche und erzeugten Schäden an der oberirdischen Biomasse oder „wühlten“ unterhalb der Kruste und erzeugten Schäden im Wurzelraum der Kulturpflanzen.

- Sobald sich die Ausläufer entwickeln, können diese durch die tiefer eingreifende Torsionshacke insbesondere auch in Kombination mit der Gänsefußhacke geschädigt werden.

5 Wirtschaftliche Bewertung der mechanischen Unkrautregulierung in Petersilie

Die mechanischen Unkrautregulierung soll am Beispiel Petersilie ökonomisch bewertet werden. Dazu werden zwei Praxisbeispiele gegenübergestellt: ein chemisch-integriertes Verfahren und ein thermisch-mechanisches Verfahren. Das chemisch-integrierte Verfahren steht für den konventionellen Standard im großflächigen Petersilienanbau, während das thermisch-mechanische Verfahren im großflächigen Bio-Anbau von Petersilie zur Anwendung kommt. Bei der Kalkulation wurden einige Kostenpositionen wie Düngung, Bewässerung oder Ernte unberücksichtigt gelassen, da diese erwartungsgemäß nicht von der Form der Unkrautregulierung abhängen.

Für das chemisch-integrierte Verfahren wurden folgende Annahmen gemacht:

Nach dem Einsatz einer Kombination aus Pflug und Packer erfolgt die Aussaat mit einer pneumatischen Drillmaschine mit vorgeschalteter Kreiselegge. Anschließend folgt die Herbizidbehandlung im Voraufbau mit einer Tankmischung. Vor dem Auflaufen der Kultur wird dann bei Bedarf noch einmal mit einem Totalherbizid bereits aufgelaufenes Unkraut entfernt. Nach dem Auflaufen der Kultur werden im dreimaligen Splitting die Nachaufbaubehandlungen durchgeführt. Ein Herbizid gegen Gräser erfolgt separat zu einem späteren Zeitpunkt. In diesem Beispiel wird davon ausgegangen, dass trotz Herbizidanwendung noch Handjätearbeit von 30 Stunden je Hektar kurz vor der Ernte nötig ist. Dabei wird groß gewordenes Unkraut manuell entfernt, um die Qualitätsanforderungen des Abnehmers zu erfüllen. Nach jedem Ernteschnitt wird der Bestand mit dem Striegel „geputzt“ und ein Herbizid gegen die Spätverunkrautung mit dem giftigen Gemeinen Kreuzkraut (*Senecio vulgaris*) eingesetzt.

Für das thermisch-mechanische Verfahren wurden folgende Annahmen gemacht:

Nach dem Einsatz von Pflug und Packer wird im zeitigen Frühjahr mit der Kreiselegge etwa 10 bis 14 Tage vor der Aussaat das Saatbett bereitet. In dieses abgesetzte Saatbett wird mit einer pneumatischen Drillmaschine die Petersilie gesät, ohne das Saatbett noch einmal mechanisch aufzuarbeiten. Es ist eine „Soloaussaat“ ohne Kreiselegge. Zu diesem Zeitpunkt ist das erste Unkraut eventuell schon aufgelaufen. Unmittelbar vor dem Aufgang der Petersilie wird ganzflächig abgeflammt, um die Fläche vom Unkraut zu bereinigen. Später, vor Bestandsschluss der Petersilie, wird noch zweimal maschinell gehackt und einmal gestriegelt. Die weitere Unkrautregulierung bis zur ersten Ernte erfolgt dann nur noch manuell. Nach jedem Ernteschnitt wird der Bestand mit dem Striegel „geputzt“ und gegen die Spätverunkrautung mit Gemeinem Kreuzkraut maschinell gehackt. Direkt vor jeder weiteren Ernte ist nochmals Handjätearbeit nötig. Insgesamt werden für Handhacke und Jätearbeiten 120 Arbeitsstunden je Hektar angesetzt.

In der folgenden Tabelle sind die dem jeweiligen Verfahren zurechenbaren Kosten dargestellt. Für die Berechnung wurden Maschinenringsätze, Genossenschaftsabgabepreise und Angaben aus Praxisbetrieben verwendet (Stand Juni 2022).

Vergleich der Verfahrenskosten für eine chemisch-integrierte und eine thermisch-mechanische Unkrautkontrolle am Beispiel Petersilie, Flächengröße 10 ha, 4 Ernteschnitte					
Maschine/Verfahren, Arbeitsbreite, weitere Spezifikation	Verfahren der Unkrautregulierung			Chemisch-integriert	Thermisch-mechanisch
	Ausführung	Euro/ha bzw. Euro/h*	Anzahl Anwendungen	Euro/ha	Euro/ha
5-Schar-Pflug mit Packer		139,00	1	139,00	139,00
Kreiselegge, 6 m	Für abgesetztes Saatbett	52,00	1		52,00
Drillmaschine mit Kreiselegge, 6 m, 25 cm Reihenabstand	Pneumatisch, Scheibenschare, Saatmenge 10 kg/ha	69,50	1	69,50	
Drillmaschine (solo), 6 m, 25 cm Reihenabstand	Pneumatisch, Scheibenschare, Saatmenge 10 kg/ha	69,50	1		69,50
Pflanzenschutzspritze	Herbizide: Tankmischung, Vorauflauf	102,50	1	102,50	
Pflanzenschutzspritze	Herbizid: Totalherbizid, Vorauflauf	109,40	1	109,40	
Abflammgerät mit Luftunterstützung, 6 m	Vorauflauf	250,90	1		250,90
Pflanzenschutzspritze	Herbizide: Tankmischung oder Splitting, Nachauflauf	188,60	1	188,60	
Pflanzenschutzspritze	Herbizid gegen Gräser, Soloanwendung	92,50	1	92,50	
Hackmaschine, 6 m, Gänsefußschare		50,00	2		100,00
Striegel, 6 m		25,00	1		25,00
Handhacke mit Jäten	Dienstleister	20,00	30 h	600,00	
Handhacke mit Jäten	Dienstleister	20,00	120 h		2.400,00
Pflanzenschutzspritze	Herbizid nach dem Schnitt (auch gegen Gemeines Kreuzkraut)**	59,00	3	177,00	
Hackmaschine, 6 m, Gänsefußschare	gegen Spätverunkrautung (auch gegen Gemeines Kreuzkraut)	50,00	3		150,00
Striegel, 6 m	Abgeerntete Fläche „putzen“	25,00	3	75,00	75,00
Summe				1.553,50	3.261,40

* Quelle: Maschinenringsätze NRW - März 2022 = Maschine inklusive Bedienung, Schlepper und Dieselkraftstoff,

**Einsatz von Herbizid Asulox gegen Spätverunkrautung

Weitere Quellen: Genossenschaftsabgabepreise (Stand: März 2022) und Angaben aus der Praxis (Stand Juni 2022)

Im Kostenvergleich schneidet das chemisch-integrierte Verfahren mit 1.553,50 Euro/ha um ca. 1.700 Euro/ha günstiger ab als das thermisch-mechanische Verfahren, das Kosten von

3.261,40 Euro/ha verursacht. Der deutliche Kostenunterschied lässt sich im Wesentlichen durch den hohen Arbeitsaufwand für die Handhacke im thermisch-mechanischen Verfahren erklären. Es ist unbedingt zu beachten, dass jeder Betrieb seine eigene individuelle Kostenstruktur hat. Daher kann und soll diese Berechnung nur zur Orientierung dienen und lediglich eine Tendenz abbilden.

6 Autorinnen und Autoren

Andrea Baron	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Matthias Bernschein	Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, INRES Nachwachsende Rohstoffe
Hanna Blum	Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, INRES Nachwachsende Rohstoffe
Martin Hänsel	Agrarbiologe, Taucha
Dr. Heidi Heuberger	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Charlotte Junker	Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, INRES Agrarökologie und Organischer Landbau
Andreas Kienast	Gärtnermeister, Friedberg
Christine Kolm	Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Institut für Pflanzenbau und Pflanzenzüchtung
Hans-Jörg Komnik	Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, INRES Nachwachsende Rohstoffe
Dr. Daniel Neuhoff	Rheinische Friedrich-Wilhelm-Universität Bonn, INRES Agrarökologie und Organischer Landbau

7 Danksagung

Die vorliegende Broschüre ist ein Ergebnis aus dem Verbundvorhaben „Optimierung der Unkrautregulierung im Arzneipflanzenanbau mit Fokus auf indirekte und mechanische Verfahren sowie auf die Bestandsetablierungsphase von Kamille und Melisse“. Dieses Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMEL) unter den Förderkennzeichen 22024817, 22015618, 22015718 und 22015818 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren. Die Autorenschaft bedankt sich sehr herzlich beim BMEL für die Unterstützung und bei der Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. für die Projektträgerschaft.

Weiterhin gilt unser Dank den Firmen Einböck, K.U.L.T. und Treffler für die großzügig eingeräumten Händlerrabatte bei der Beschaffung der Versuchsgerätschaften sowie für den fachlichen Dialog. Unser Dank gilt auch den landwirtschaftlichen Betrieben LuRa-Agrarhandels-GmbH, Ranis, und der Agrargenossenschaft Nöbdenitz e. G., Nöbdenitz, für die Durchführung von Praxisversuchen.

Schließlich gilt unser Dank den Versuchstechnikern auf den Forschungsstationen der Universität Bonn Campus Klein-Altendorf und Campus Wiesengut, auf den Versuchsstationen der Bayerischen Staatsgüter Baumannshof und Puch sowie der Pharmaplant GmbH.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Mit freundlicher Unterstützung durch:

